



GÉOLOGIE APPLIQUÉE.

NOTE

POUR LE PLACEMENT DES PLANCHES.

FIG.	1. (la carte)	PAGE.	32
—	13.	»	74
—	17-18.	»	112
—	19-20.	»	114
—	23-24.	»	124
—	25.	»	126
—	27.	»	138
—	28.	»	142
—	36-37.	»	224
—	39-40.	»	226
—	41-42-43-44.	»	234
—	64-65.	»	280
—	68.	»	288
—	93.	»	332
—	113-114-115-116. . . .	»	352
—	120-121.	»	358
—	122 à 129.	»	374
—	133.	»	388
—	146.	»	422
—	156.	»	444
—	160.	»	452
—	161.	»	454

Paris. — Imprimerie de Bethune et Plon.

GÉOLOGIE

APPLIQUÉE,

OU TRAITÉ DE LA RECHERCHE ET DE L'EXPLOITATION

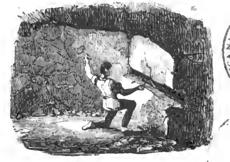
DES

MINÉRAUX UTILES,

PAR

M. AMÉDÉE BURAT,

Ingénieur, Professeur d'exploitation des Mines à l'École centrale des Arts et Manufactures, etc





PARIS.

LANGLOIS ET LECLERCQ,
81, RUE DE LA HARPE.

L. MATHIAS (*Augustin*),
15, QUAI MALAQUAIS.

LEIPZIG,
LÉOPOLD MICHELSEN.

TABLE.

PREMIÈRE PARTIE.

GISEMENT DES MINÉRAUX UTILES.

SECONDE PARTIE.

DE L'EXPLOITATION DES MINÉRAUX UTILES.

PRÉFACE.

L'exploitation des mines, pratiquée depuis tant de siècles, a donné naissance à la *géologie* et la *minéralogie*. Les richesses minérales d'une contrée sont, en effet, trop intimement liées à sa constitution géologique, pour qu'en étudiant les lois qui régissent les minéraux utiles on n'ait pas été conduit à observer celles qui ont présidé à la formation du globe, et si, depuis Werner, la géologie et la minéralogie se sont écartées de la pratique qui les avait vues naître, c'est qu'il était nécessaire qu'elles fussent constituées comme sciences, afin de guider, à leur tour, l'art de l'exploitation dont elles n'avaient été, dans le principe, que les conséquences.

Aujourd'hui que la géologie a pris rang parmi les sciences exactes, que ses théories sont établies, ses classifications et sa nomenclature fixées autant que le permettent les faits accessibles à l'observation ; aujourd'hui que les études portent principalement sur les détails et les travaux graphiques, il nous a paru utile de ramener la géologie vers son point de départ, et d'exposer les faits qui la rattachent à l'industrie de l'exploitation.

Des études constamment dirigées vers les applications nous ont fait reconnaître que, dans les exploitations de toute nature, les indications géologiques pouvaient seules conduire à un bon système d'extraction ou d'aménagement de la richesse minérale ; que tous les ingénieurs, les directeurs de mines, les maîtres mineurs, les carriers eux-mêmes étaient amenés à pratiquer la géologie, à en observer les principes, et que, si la géologie ne peut conduire directement à la découverte des gîtes, elle préserve du moins de toute fausse direction, et apprend à donner aux indices, aux apparences extérieures, leur valeur réelle.

La première partie de cet ouvrage présente tous les faits géologiques

qui mènent à la connaissance du *gisement des minéraux utiles;* la seconde partie, consacrée à l'*exploitation des minéraux utiles*, expose les relations qui existent entre le gisement et les méthodes de recherche, d'aménagement et d'abattage. Les conditions géognostiques de forme et d'allure ont en effet une influence tellement directe sur les conditions économiques de l'exploitation qu'il est impossible de faire un pas raisonné dans une mine sans s'appuyer sur les données de la science.

Il restait à déterminer quelles doivent être les conditions de gisement et de composition pour qu'une exploitation soit profitable; quels doivent être le titre d'un minerai et son mode de répartition. Bien que ces questions complexes soient de celles dont la solution présente encore le plus d'incertitude, nous avons pensé qu'en étudiant les conditions de production des divers états du globe, en comparant les moyens pratiques de chaque district à la nature des gîtes qu'il exploite, on pourrait toujours préciser ce qu'on doit espérer d'un minerai dont on connaîtrait le gisement, la composition et la position géographique; les développements que nous avons donnés à cette dernière partie de notre travail nous font espérer qu'ils guideront utilement les exploitants dans la marche si importante de l'application.

INTRODUCTION.

L'exploitation des mines est la source la plus immédiate de la prospérité commerciale; c'est elle qui fournit à l'industrie la plus grande partie des matières premières. La plupart des États pourraient se suffire à eux-mêmes sous le rapport agricole; mais les richesses minérales, réparties avec irrégularité, ont amené entre eux des échanges nécessaires. Ces richesses ne sont en effet nullement distribuées à la superficie du globe en raison de l'étendue des États; presque toutes les mines métalliques, par exemple, sont concentrées dans quelques districts circonscrits, tandis que des surfaces immenses en sont dépourvues. La houille ne se trouve que dans des bassins peu étendus et presque tous accumulés dans la partie occidentale de l'Europe.

Outre l'irrégularité de cette répartition, l'aptitude industrielle des populations influe encore d'une manière remarquable sur les extractions minérales; et il y a en quelque sorte une proportion constante entre les éléments de civilisation d'un pays et le parti qu'il sait tirer des richesses du sol. Aussi l'historique des mines ne présente-t-il pas seulement un intérêt de curiosité, et les documents conservés par la tradition sont-ils de la plus grande utilité dans l'exploration de certaines contrées où ils ont souvent déterminé des entreprises heureuses. Il est donc important de connaître les déplacements successifs des centres de production, et d'apprécier autant que possible les causes qui les ont amenés, afin de profiter de ces documents pour reprendre les gîtes dont les conditions conviennent encore à l'époque actuelle, et laisser de côté ceux

qui n'ont dû leur mise en valeur qu'à des circonstances spéciales qui n'existent plus aujourd'hui.

L'industrie des mines se développa rapidement sous la domination des Romains, et toutes les contrées qui reçurent de leur part une organisation puissante furent appelées à concourir au luxe de métaux qui caractérisait cette époque. Pline et Strabon signalent l'Espagne et les Gaules comme les sources principales des métaux. Ainsi la Galice et les Asturies produisaient seules jusqu'à 40,000 marcs d'or par année; l'étain était fourni par les montagnes de Casis; les mines de mercure étaient en grande activité dans le pays de Cordoue. Les Gaules, ainsi que la Galice, envoyaient en abondance le plomb et l'argent. Déjà, d'après Tacite, des mines de cuivre et d'étain avaient été ouvertes sur les côtes d'Angleterre : on connaissait aussi quelques mines d'or en Transylvanie, mais la plus grande quantité venait de l'Asie. Le fer était fourni par la Silésie et l'île d'Elbe. Enfin l'Italie elle-même produisait abondamment le cuivre, si précieux alors qu'on ne connaissait pas encore l'usage de la fonte.

Il suffit d'étudier les ruines de cette époque pour être frappé de l'immense développement que dut avoir la production du bronze. En effet, non-seulement ce métal était d'un emploi général dans les arts utiles; car il n'était pas de métier où il ne figurât comme outil ; on le retrouve encore aujourd'hui dans les conduites d'eau, les pièces mécaniques, et jusque dans les galeries de mines, façonné en marteaux, en coins et en leviers; mais c'était surtout dans l'ornement qu'il était répandu en profusion. Saint-Pierre de Rome doit les richesses de ses bronzes au Panthéon, et les bronzes enlevés aux petites villes d'Herculanum et de Pompéi, dont quelques parties à peine sont découvertes, ont suffi pour orner un musée qui, sous ce rapport, est le plus riche de l'Europe.

Cette richesse paraît d'abord s'accorder difficilement avec le peu d'avancement de l'art des mines, car les ruines de ces établissements souterrains sont aussi arrivées jusqu'à nous. Ce sont généralement de vastes chambres ou descenderies, réunies entre elles par des galeries sinueuses et d'un parcours difficile, commu-

niquant au jour par des puits rapprochés et irréguliers. Ce qu'il y a de plus frappant dans la disposition de ces travaux, c'est l'ignorance complète des conditions de continuité des gîtes, en direction et en inclinaison ; faits qui ont été connus et mis à profit à l'époque du moyen âge, dont les travaux ont par conséquent un cachet d'assurance et de régularité qui les distingue complétement. Ainsi, dans ces premiers travaux de mine, les épuisements, les transports intérieurs n'étaient exécutés qu'à bras d'homme, et on ne pouvait, par suite, arriver à de grandes profondeurs. Il fallut donc que la facilité des premières exploitations vînt aider la production, et compenser l'insuffisance des procédés ; il fallut surtout que le prix des métaux fût très-élevé pour rendre fructueux de pareils travaux, et l'on trouve en effet que leur valeur, comparée à celle du blé, était en moyenne cinq fois plus grande qu'aujourd'hui. Enfin l'exploitation des mines n'était alors une source de fortune que pour l'État ; elle se faisait par les esclaves, et ces malheureux y étaient traités avec une dureté telle qu'ils s'y suicidaient en grande quantité.

C'est à l'aide de ces moyens d'action que les Romains ont tiré parti de gîtes dont la teneur est tellement faible qu'ils sont aujourd'hui inexploitables, malgré toutes les ressources de l'industrie moderne. Il faut ajouter encore à ces considérations que si les arts métallurgiques ont aujourd'hui des procédés plus simples et plus certains, les Romains ne paraissent pas avoir été aussi inférieurs sous ce rapport que dans l'exploitation proprement dite ; qu'ils disposaient enfin d'un combustible sans aucune valeur et d'une main-d'œuvre active et peu coûteuse. Il existe dans les districts métallifères d'Italie des vallées entièrement remplies de scories qui attestent un traitement intelligent et prolongé pendant plusieurs siècles.

La plupart des exploitations créées par la domination romaine périrent successivement aux époques d'invasion des barbares. Les générations qui suivirent ne s'occupèrent qu'à dépouiller les villes de l'empire ; les monuments furent exploités comme de véritables mines, et tous furent détruits lors même qu'ils ne

pouvaient fournir à ce pillage que les crampons et les liens qui réunissaient les pierres entre elles. Ce n'est plus que vers le septième siècle qu'on retrouve dans l'histoire quelques données sur la reprise des travaux de mines, reprise imposée par les besoins d'une civilisation nouvelle. Au huitième siècle, les grandes exploitations se trouvent transportées dans le Tyrol, la Moravie, la Bohême et la Hongrie; les mines du Hartz furent découvertes en 965, et dans le courant du onzième siècle celles de la Saxe furent attaquées. Le domaine de l'exploitation continua à s'agrandir par la découverte des mines d'argent en Suède, des mines de cuivre du pays de Mansfeld (1200); et ce fut en 1240 que les premières mines de houille furent exploitées à Newcastle.

Ainsi les travaux d'exploitation se développaient, comme la civilisation elle-même, du sud vers le nord; aux côtes de l'Afrique avaient succédé l'Espagne et l'Italie, remplacées elles-mêmes par les Gaules et la Germanie; puis vinrent enfin la Thuringe, l'Angleterre, la Suède, lorsque ce mouvement fut profondément troublé par la découverte de l'Amérique en 1492, et l'avilissement des métaux précieux qui en fut la suite.

Mais alors la production européenne trouva dans les mines de l'Allemagne et de la Hongrie un appui remarquable, et ce fut dans les seizième et dix-septième siècles que ces mines arrivèrent à leur développement par l'étude et l'aménagement régulier des filons, la création des méthodes principales d'abattage, le perfectionnement des moyens de transport et d'épuisement. En 1632, la poudre fut appliquée à l'abattage des roches; et vers 1700 furent établis les premiers chemins à ornières pour les transports. Les mines européennes, d'abord arrêtées dans l'extraction des métaux précieux, trouvèrent dans ces progrès, et par le développement de la consommation, des éléments suffisants pour se soutenir malgré la concurrence américaine.

Ce fut à partir du quinzième siècle que l'Angleterre commença à établir la prépondérance de ses mines. Les exploitations du Cornwall pour le cuivre et l'étain, celles du Derbyshire et du Cumberland pour le plomb, celles du Straffordshire et du pays

de Galles pour le fer, enfin l'exploitation de la houille, ont placé cette contrée privilégiée en tête de la production.

La France eut, dans le courant du dix-huitième siècle, une période de grande activité. A cette époque, les gîtes des environs de Sainte-Marie-aux-Mines, ceux de Giromagny et de Plancher-aux-Mines, ceux de la Bretagne, de l'Oisans, les filons si nombreux de l'Auvergne et des Cévennes, donnaient lieu à des extractions importantes. Mais tous ces premiers travaux, brillants dans leurs débuts, furent conduits sans prévision. Rien ne fut entrepris pour faciliter l'exploitation de l'avenir ; et lorsque l'approfondissement des travaux au-dessous des eaux ou simplement l'appauvrissement graduel des gîtes, la concurrence des plombs espagnols, eurent rendu les travaux plus difficiles et moins fructueux, ces mines furent successivement abandonnées. C'est à peine si celles de Villefort, Poullaouen, Pontgibaud, rappellent encore cette période de production qui renaîtra difficilement.

L'existence d'anciens travaux paraît souvent un motif pour engager à y rentrer; et pourtant c'est une condition presque toujours très-défavorable, parce que les parties les plus facilement abordables et les plus riches ont été suivies et enlevées, et parce que l'existence de vides remblayés entrave l'exploitation nouvelle dans sa régularité, et l'interrompt souvent par des travaux dangereux et improductifs. Qu'on livre pendant dix ans les mines du Hartz à l'influence si rapidement destructive de l'abandon, les capitaux qui seront nécessaires pour y rentrer rendront incertains des travaux aujourd'hui productifs, par le prélèvement toujours fait sur les profits du présent pour préparer ceux de l'avenir.

Le dix-huitième et le dix-neuvième siècle ont été marqués par l'extension prodigieuse de la fabrication du fer en Angleterre, en France et en Belgique; et les mines de houille ont suivi ce mouvement rapide, auquel elles ont donné naissance. L'activité remarquable des mines de plomb d'Espagne, des mines de zinc de Silésie et du Limbourg est également un des traits les plus caractéristiques de la production de cette époque. Enfin la Russie, par

ses extractions d'or, de platine et de cuivre, s'est élevée rapidement au premier rang de l'exploitation.

Les États de l'Europe ont été classés ainsi qu'il suit d'après l'évaluation de leurs produits en métaux bruts. La Russie, qui est en seconde ligne, ne viendrait qu'après l'Autriche, si on retranchait les produits de ses mines situées en Asie.

Angleterre.	440 millions.
Russie et Pologne.	135
France	132
Autriche.	67
Confédération germanique.	62
Espagne.	54
Suède et Norvége.	54
Prusse.	49
Belgique	40
Toscane.	15
Piémont et Savoie	11
Danemark	9

Si l'on détaille actuellement ces valeurs, dont le total s'élève à plus d'un milliard, on reconnaît qu'il y a des États qui produisent à eux seuls la presque totalité de certains métaux.

	ÉTAIN.	CUIVRE.	MERCURE.	ZINC.	PLOMB.	ARGENT.	OR.	FER.	FONTE.
	quint.	quint.	quint.	quint.	quint.	marcs.	marcs.	quint.	quint.
Iles-Britanniques	43,000	144,500	»	25,000	275,000	12,000	»	3,690,000	7,200,000
Russie et Pologne.........	»	39,400	»	50,000	7,000	77,000	24,000	1,200,000	2,000,000
France....................	»	1,003	»	»	4,700	6,627	»	2,048,000	3,083,000
Autriche..................	380	42,000	3,000	900	54,000	85,000	4,500	850,000	?
Suède et Norvége.........	750	14,800	»	3,500	500	20,700	7	1,000,000	?
Espagne.	»	300	20,000	1,000	250,000	»	»	180,000	?
Prusse....................	»	6,400	»	6,000	71,000	20,000	»	800,000	?
Confédération germanique.	3,500	23,000	7,000	»	96,000	105,000	120	820,000	?
Belgique et Pays-Bas......	»	»	»	20,000	4,000	700	»	600,000	1,350,000
Piémont, Suisse, Savoie....	»	»	»	»	4,000	2,500	25	255,000	?
Danemark..................	»	8,500	»	»	»	»	»	135,000	?
Toscane, Ile d'Elbe, Italie..	»	»	»	»	»	»	»	280,000	?

La production des autres parties du monde n'est connue qu'autant qu'elles sont liées par des rapports commerciaux avec l'Europe. Les exploitations des Amériques, par exemple, fournissent

les $\frac{11}{14}$ de l'or et de l'argent extraits annuellement ; le Pérou produit la plus grande partie du platine employé dans les arts ; le Chili et le Mexique une quantité de mercure assez notable pour que l'importation européenne (pour le traitement des minerais d'or et d'argent) ait subi une diminution sensible. Mais dans les riches contrées de l'Asie, la production se suffit en grande partie à elle-même sans que nous en connaissions les moyens. La Chine, par exemple, fabrique abondamment le fer et le cuivre. Banca et Malacca, dans les Indes, exportent une quantité d'étain évaluée au double de la production européenne.

Le tableau suivant donnera idée de la répartition des mines d'or et d'argent exploitées actuellement :

		Argent, marcs.	Or, marcs.
Amériques. . . .	Brésil.	»	22,000
	Mexique.	2,196,000	16,000
	Pérou	600,000	4,000
	Buénos-Ayres	525,000	2,000
	Chili.	250,000	11,500
	Colombie.	1,200	18,000
	États-Unis.	130,000	10,000
Asie (non compris la Russie).	Thibet	?	15,000
	Archipel Indien	?	5,000
Afrique.	Côtes méridionales. . .	?	16,000

Ces tableaux ne peuvent fixer que sur les valeurs créées par l'exploitation des substances métallifères ; mais le domaine de l'exploitation ne s'arrête pas là : les combustibles minéraux, le sel gemme, les roches de toute espèce employées dans les arts, constituent une branche de cette industrie encore plus générale et plus productive.

Ainsi, pour ne plus parler que de la France, on y exploite environ trois cents mines de combustibles minéraux, et vingt-deux mille ouvriers en extraient annuellement trente-deux millions de quintaux métriques. Dans les carrières de toute nature en production régulière de matériaux appliqués à la construction, une population de soixante-et-dix mille ouvriers, directement employés à l'extraction, produit annuellement une valeur de cinquante millions de francs.

La production minérale de la France peut être appréciée par les chiffres suivants de l'année 1840 :

	Quintaux métriques.	Valeur.
Houille.	32,000,000	30,000,000 fr.
Tourbe.	4,472,000	3,652,000
Bitumes.	25,000	456,000
Sel gemme.	500,000	4,600,000
Terres alunifères	120,000	1,780,000
Carrières de toute espèce. .	»	50,000,000
Minerais de fer.	40,091,000	13,500,000
Minerais divers	280,000	626,000
		104,804,000

Cette valeur est augmentée par les arts métallurgiques :

Pour l'industrie du fer, de. . . .	116,830,000
Pour les autres métaux, de. . . .	756,000

C'est-à-dire portée à plus de 220 millions. Si l'on ajoutait à ces évaluations qui sont faites en considérant la valeur sur le carreau des mines ou carrières, ou dans les usines métallurgiques, les valeurs additionnelles qui résultent des transports et des mises en œuvre, on arriverait à un chiffre important dans la richesse publique. Ce chiffre s'accroît d'ailleurs chaque année, car la France est une des contrées où il reste le plus à faire pour le développement de ses ressources minérales.

Notre but est d'exposer dans ce volume tous les documents qui peuvent faire connaître les gisements de toutes ces matières utiles, et qui doivent guider dans leur exploitation. Nous le diviserons donc en deux parties : la première consacrée à l'étude du *gisement*, c'est-à-dire de la nature et des formes des gîtes, de leur position géologique et de leur origine ; dans la seconde nous rassemblerons toutes les méthodes et tous les procédés qui peuvent être appliqués à l'*exploitation*.

PREMIÈRE PARTIE.

DU GISEMENT DES MINÉRAUX UTILES.

CHAPITRE PREMIER.

GITES GÉNÉRAUX.

Composition générale des terrains.

La recherche et l'exploitation des minéraux utiles doivent être le but constant des études géologiques. La classification des terrains, la description de leurs caractères, les théories de leur formation cesseraient de présenter le haut intérêt qui s'y attache, si l'on ne voyait dans cet examen des lois de la nature un guide pour arriver à connaître les formes et les positions qu'elle a assignées aux *minéraux utiles*.

Werner, qui a posé le premier les bases de la géognosie et classé les faits épars jusqu'alors dans quelques mémoires et dans les traditions des mineurs, imprima d'abord à la science cette direction toute d'application et la subordonna à la classification des substances exploitées. Ses travaux, quoique modifiés profondément par les découvertes postérieures, sont souvent le meilleur guide qu'on puisse choisir pour l'étude des gîtes de minéraux utiles, c'est-à-dire des espaces souterrains dans lesquels ces minéraux ont été formés. Werner les divisait en *gîtes généraux*, qui ne sont autres que les roches constituantes des divers terrains; et en *gîtes particuliers*, qui occupent des espaces beaucoup plus circonscrits et sont compris dans les premiers.

Les gîtes généraux forment donc des masses puissantes et éten-

dues dont la succession est assujettie à des lois déterminées. Leur composition est peu variée comparativement à leur importance; ainsi la silice y est l'élément le plus fréquent, soit seule à l'état de quarz compacte, de grès, de poudingues; soit à l'état d'association à la fois mécanique et chimique, dans les granites et dans toutes les roches ignées, les roches schisteuses, etc. Les contrées calcaires exceptées, la silice forme les $\frac{4}{5}$ des roches. L'alumine ne vient que bien après la silice pour la proportion, mais elle est aussi très-fréquente; les feldspaths, les argiles, les marnes, les schistes argileux en contiennent de 30 à 15 pour cent. Vient ensuite la chaux, base des roches calcaires et gypseuses, roches si abondantes dans certaines contrées, mais pas assez générales pour qu'il n'y ait de vastes surfaces, au Brésil, par exemple, où la chaux est très-difficile à se procurer. Après ces éléments, les autres n'ont plus qu'une importance très-secondaire comme proportion; et ce sont seulement les usages industriels qui la leur ont donnée: tels sont le fer, très-fréquent en petite proportion, de 2 à 10 pour cent, et comme principe colorant, dans les roches, mais assez rare pour être très-recherché lorsque la proportion est de 40 à 50 pour cent; le carbone, encore moins répandu, mais qui forme la base de toutes les roches combustibles. La potasse dans les feldspaths; la soude, dans les albites et le sel gemme, sont les substances les moins abondantes des gîtes généraux.

En vertu de leur développement, les gîtes généraux peuvent seuls fournir à l'industrie les pierres de construction, quarzeuses, calcaires ou feldspathiques; les pierres à chaux, les pierres à plâtre, les argiles plastiques et les kaolins, éléments indispensables des arts céramiques; une partie des roches d'ornement, telles que les porphyres, les marbres, etc.; les combustibles fossiles, une grande partie des minerais de fer et du sel exploité, enfin les matériaux employés dans une multitude d'industries, tels que les sables de verrerie, les meules à moudre ou à aiguiser, les pierres lithographiques, etc., matériaux qui doivent être à bas prix et qui, par conséquent, ne peuvent supporter de grands frais d'extraction.

Les gîtes particuliers comprennent tous les minerais métallifères (sauf une partie des minerais de fer), et les substances assez coûteuses pour être aussi recherchées que les métaux par l'exploitation; telles sont, par exemple, celles qui se rattachent à la bijouterie, et toutes les gemmes, depuis le diamant jusqu'au quarz hyalin ou cristal de roche.

Ainsi la première distinction à établir entre les minéraux est basée sur la fréquence et la puissance de leurs gîtes; c'est celle des *roches*, minéraux ou associations de minéraux assez répandus pour être regardés comme principes constituants de la croûte du globe, et des *minéraux accidentels* dont les gîtes sont subordonnés aux roches, c'est-à-dire y sont contenus accidentellement et d'une manière secondaire.

Caractères des roches sédimentaires et ignées.

Les études géologiques se bornèrent long-temps à l'examen direct des roches; on signalait leurs caractères minéralogiques, leurs passages, leurs formes et les accidents de leurs masses, leurs superpositions, les substances qui s'y trouvaient disséminées: c'était ce qu'on appelait alors faire la lithologie d'une contrée, et c'est ainsi que Verner décrivit la Saxe, Saussure les Alpes, Dolomieu les volcans. Lorsque ces premières études permirent d'adopter un point de vue plus général, on reconnut que ces roches composaient deux séries de terrains qui se sont développés pendant la série des temps géologiques : l'une, entièrement due à l'action des eaux et à leurs migrations successives, est celle des terrains sédimentaires; la seconde, la série des roches ignées, a été produite par une action analogue à celle qui amène encore à la surface des laves et des déjections volcaniques. Cette action est le résultat de l'état d'incandescence dans lequel a été notre planète et de son refroidissement graduel; faits admis aujourd'hui par tous les géologues.

Les terrains sédimentaires comprennent donc les roches engendrées, soit par érosion, transport et agrégation, telles que les

conglomérats, les poudingues, les grès, les sables, ainsi que les dépôts argileux et limoneux ; ils comprennent en outre celles qui résultent de précipitations chimiques, telles que les roches calcaires et certaines roches siliceuses. Ces divers dépôts sont stratifiés, c'est-à-dire disposés en couches superposées les unes aux autres; ils sont caractérisés par la nature lithoïde des roches, et suivant leur âge par des fossiles particuliers et des substances accidentelles de nature diverse.

Les terrains ignés sont, au contraire, composés de roches cristallines dont un grand nombre offrent des analogies avec les laves volcaniques; les formes de ces roches sont massives, sauf les cas où elles ont été injectées dans les fissures des roches préexistantes, et où elles se sont épanchées en nappes à la surface du sol.

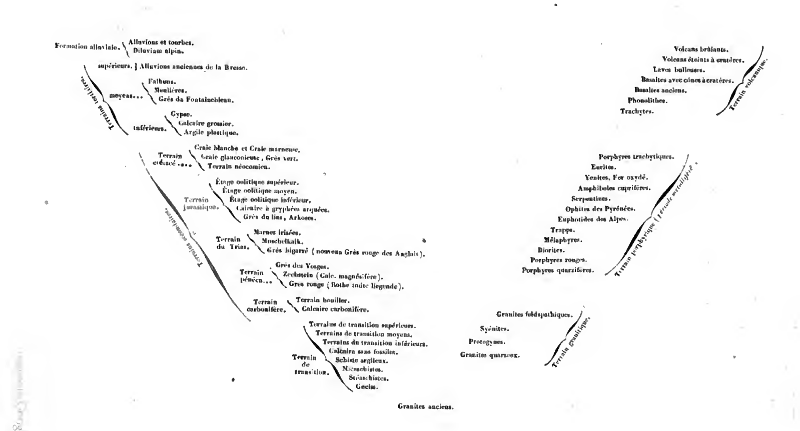
La géognosie a étudié ces divers terrains, constaté leur âge successif, leur composition, leur puissance, leur étendue; elle les a classés, dénommés, et, dans l'état actuel de la science, ils sont divisés en terrains, et les terrains en formations. Ainsi les terrains sédimentaires les plus anciens, terrains souvent demi-cristallins, dont la stratification est généralement accidentée, ont été nommés terrains de transition, parce qu'ils établissent bien le passage de l'action exclusivement ignée sur la surface du globe à l'action sédimentaire des eaux. Ces terrains constituent les parties les plus élevées du globe; car c'est en vertu de cette surélévation qu'ils ont échappé aux influences qui ont successivement déposé les terrains de sédiment mieux caractérisés : leur existence souterraine au-dessous de tous les autres terrains est d'ailleurs un fait regardé comme constant.

Après ces terrains furent déposés dans de vastes bassins les terrains secondaires, dont les couches mieux stratifiées, les éléments argileux et calcaires plus éloignés par leur nature terreuse et lithoïde des caractères cristallins des roches ignées, enfin dont les débris organiques fossiles, généralement conservés et déterminables, rendent l'origine sédimentaire des plus évidentes. A ces terrains succèdent enfin les terrains tertiaires; puis les terrains d'alluvion en bassins plus circonscrits, plus réguliers dans leur

structure et composés de roches moins compactes et moins denses. Pendant toute cette série de dépôts, l'influence ignée n'avait cessé d'envoyer à la surface des roches éruptives; ces roches, confondues vers la base avec les premiers produits sédimentaires, devinrent de plus en plus distinctes et disparates : de telle sorte que le tableau de ces produits parallèles et simultanés des deux influences génératrices, pendant les temps géologiques, peut être représenté comme soudé et confondu dans leur base, mais divergent de plus en plus à mesure qu'on s'élève dans une série.

Le tableau ci-après disposé d'après cette considération, résume donc la composition de l'écorce terrestre. Les terrains sédimentaires constituent de préférence les contrées peu accidentées, telles que les grands bassins géologiques où se sont déposés concentriquement les formations secondaires et tertiaires. Si l'on examine, par exemple, la carte placée en tête de cet ouvrage, on voit que Paris et Bordeaux sont placés au centre de bassins déterminés à la fois par des lignes géologiques et hydrographiques, dans lesquels le sol est en effet peu accidenté. Les roches sédimentaires constituent exclusivement le sol de ces bassins, et si l'on vient à y pratiquer des puits ou sondages profonds on ne rencontrera au-dessous des dépôts de la surface que des dépôts plus anciens. On pourrait ainsi parcourir toute la série des terrains sédimentaires, si tous ces terrains s'étaient en effet superposés sans lacunes, sans avoir chance de rencontrer, sur le point où l'on établirait le forage, des roches ignées, avant les termes inférieurs de la série. Les roches ignées ont, au contraire, une grande part dans la composition des contrées saillantes, accidentées, ou domine le terrain de transition. A l'approche de ces contrées, telles que les Vosges, les Pyrénées, les Alpes, la Bretagne et le plateau central, contrées montagneuses où les cours d'eau prennent leur source, les roches sédimentaires sont fréquemment bouleversées et traversées par des roches ignées [1].

[1] La nomenclature adoptée pour cet ouvrage est celle de MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont.


Formation alluviale.
Alluvions et tourbes.
Diluvium alpin.
Terrains tertiaires.
supérieurs.
Alluvions anciennes de la Bresse.
moyens...
Faluns.
Meulières.
Grès de Fontainebleau.
inférieurs.
Gypse.
Calcaire grossier.
Argile plastique.
Terrains secondaires.
Terrain crétacé....
Craie blanche et Craie marneuse.
Craie glauconieuse, Grès vert.
Terrain néocomien.
Terrain jurassique.
Étage oolitique supérieur.
Étage oolitique moyen.
Étage oolitique inférieur.
Calcaire à gryphées arquées.
Grès du lias, Arkoses.
Terrain du Trias.
Marnes irisées.
Muschelkalk.
Grès bigarré (nouveau Grès rouge des Anglais).
Terrain pénéen...
Grès des Vosges.
Zechstein (Calc. magnésifère).
Grès rouge (Rothe todte liegende).
Terrain carbonifère.
Terrain houiller.
Calcaire carbonifère.
Terrain de transition.
Terrains de transition supérieurs.
Terrains de transition moyens.
Terrains de transition inférieurs.
Calcaire sans fossiles.
Schiste argileux.
Micaschistes.
Stéaschistes.
Gneiss.
Granites anciens.
Terrain granitique.
Granites feldspathiques.
Syénites.
Protogynes.
Granites quarzeux.
Terrain porphyrique (période métallifère).
Porphyres trachytiques.
Eurites.
Yenites, Fer oxydé.
Amphiboles cuprifères.
Serpentines.
Ophites des Pyrénées.
Euphotides des Alpes.
Trapps.
Mélaphyres.
Diorites.
Porphyres rouges.
Porphyres quarzifères.
Terrain volcanique.
Volcans brûlants.
Volcans éteints à cratères.
Laves bulleuses.
Basaltes avec cônes à cratères.
Basaltes anciens.
Phonolithes.
Trachytes.

Il ne faut pas d'ailleurs considérer les termes de la série des terrains ignés, surtout dans sa période porphyrique, comme nécessairement développés dans une contrée et comme devant correspondre aux termes de la série sédimentaire. Le terrain volcanique correspond assez bien à la période tertiaire; mais, sauf cette connexion, il n'est pas de terme dans la série ignée qui ne puisse se trouver contemporain d'un terme de la série sédimentaire, et en contact avec les couches qui la composent. Ainsi certains granites de l'Oisans ont été reconnus comme étant sortis postérieurement aux dépôts jurassiques qu'ils ont traversés et soulevés. En Toscane, des roches feldspathiques, assez variées et qui ont l'apparence tantôt trachytique, tantôt granitique (île d'Elbe), traversent les serpentines postérieures elles-mêmes aux dépôts à fucoïdes qui représentent le système crétacé. Enfin les ophites des Pyrénées sont postérieures aux dépôts tertiaires ; de telle sorte que la période porphyrique peut s'être prolongée même jusqu'à une époque très-récente. On peut considérer la période porphyrique (élément principal de la série ignée) comme composée de roches magnésiennes intercalées entre deux termes feldspathiques; de ces trois termes, un seul ou deux seulement peuvent se trouver développés.

Caractères des roches métamorphiques.

Les deux classes de roches sédimentaires ou ignées seraient constamment d'une distinction facile, si une troisième classe, participant à la fois des unes et des autres, ne venait établir entre elles cette transition qui existe dans toutes les distinctions de l'histoire naturelle; cette classe est celle des roches métamorphiques, qui résultent évidemment des phénomènes d'altération qui ont eu lieu dans les roches de sédiment suivant leurs plans de contact avec les roches éruptives et jusqu'à des distances considérables de ces plans. Ainsi, on peut comparer les faits si variés du métamorphisme à ceux qui établissent les passages dans tous nos phénomènes d'altération artificielle par le feu : lorsqu'on retire, par

exemple, du creuset des hauts-fourneaux les roches qui en formaient les parois, la surface intérieure de ces pierres réfractaires est complétement altérée, et présente une certaine épaisseur de matière fondue, composée du mélange de la roche altérée avec les matières soumises à la fusion dans le creuset; la surface extérieure est restée parfaitement saine. Si l'on étudie la texture intérieure de la roche on voit qu'il y a transition entre ces deux états extrêmes par des états intermédiaires qui établissent le passage et sont analogues, à la fois comme caractère et probablement comme origine, aux phénomènes du métamorphisme développés seulement sur une échelle bien autrement considérable, et avec une puissance de temps et de moyens qui en rend les effets bien supérieurs à ce que nos transformations de laboratoire peuvent nous faire concevoir.

Les roches métamorphiques ne représentent pas seulement des altérations de tissu et de structure des roches de sédiment, il s'y joint encore des modifications très-variées dans la composition. Sous ce rapport, le métamorphisme des dépôts calcaires, les plus franchement éloignés des roches ignées par leur caractère et leur origine, est d'une étude très-importante et peut éclairer sur tous les détails de ces phénomènes.

Le plus souvent le métamorphisme des calcaires se manifeste par une texture semi-cristalline, dont l'intensité varie depuis les calcaires saccharoïdes jusqu'aux calcaires lamelleux et clivables; ces modifications sont du nombre de celles que nous pouvons faire subir artificiellement aux calcaires les plus terreux, elles doivent résulter nécessairement de l'action simultanée du calorique et de la pression. Dans ces calcaires, les débris organiques sont adhérents, ils semblent fondus avec la roche, et même, quand sa texture est franchement cristalline, ils cessent tout à fait d'être perceptibles; la stratification est également bien moins sensible, la roche est massive, et les fissures naturelles affectent une disposition qui rappelle plutôt les fentes dues à un rétrait que les divisions de la stratification. Un second degré de métamorphisme beaucoup plus local et plus accidentel est la pénétration,

le mélange de la roche calcaire avec la roche ignée qui l'a modifiée : ainsi la serpentine des Pyrénées se mélange avec le calcaire dans la vallée de Campan; et donne naissance aux marbres verts de ce nom. Ce genre d'altération s'explique de lui-même, et confirme l'origine attribuée au premier; puisque l'effet immédiat, incontestable de ce contact intime est la même texture saccharoïde et cristalline qui se manifeste aussi à des distances considérables.

Quelquefois les calcaires, dans les mêmes relations de position avec des roches ignées, sont pénétrés d'un ou de plusieurs principes cristallins qui appartiennent exclusivement à ces roches. Ainsi il y a des calcaires mélangés de petits cristaux de feldspath et de mica (col du Bon-Homme); d'autres sont pénétrés de pyroxène (Traverselle), d'amphibole (Arendal), de talc ou de stéatite (vallée de Chamouni), d'épidote (vallée d'Ala et Arendal), etc. Ce métamorphisme est encore une espèce de pénétration; il a rarement lieu sur une échelle considérable. Mais il arrive peut-être encore plus souvent que ces pénétrations ont lieu de la part de minéraux tout à fait nouveaux et étrangers aux roches ignées comme aux roches de sédiment : tels sont les spinelles (Aker), les grenats (Arendal), le diallage, le graphite, la condrodite (Suède), et bon nombre de substances métallifères, telles que la pyrite, le cobalt arsenical (Tunaberg), la galène, le fer oxydulé, etc.

Le fait le plus remarquable et le plus général de ces transformations est le changement des calcaires en dolomies. Il a lieu sur une échelle immense dans le Tyrol, où les puissantes assises calcaires du terrain jurassique ont été à la fois bouleversées et changées en dolomies par la sortie des mélaphyres. M. de Buch a fait ressortir de la manière la plus évidente l'intime connexion qui existe entre les mélaphyres de cette contrée, et le changement des calcaires en dolomies qui n'existent que dans des positions à la fois voisines et d'un niveau supérieur; de telle sorte que les mélaphyres apparaissent comme une source d'émanations de calorique et de magnésie. Cette transformation n'est pas d'ailleurs un fait particulier au Tyrol; elle existe presque

constamment vers le contact des roches ignées magnésiennes avec les calcaires, en Angleterre, en France en Italie, etc. Ce qu'il y a de remarquable dans ce fait, c'est qu'il démontre que ces influences de métamorphisme chimique ont pu avoir lieu, comme le métamorphisme purement mécanique qui a produit les marbres, à des distances considérables des plans de contact.

Ces divers degrés de métamorphisme du calcaire doivent exister naturellement pour toutes les autres roches, dans lesquelles ils sont seulement moins saillants ; parce que les caractères premiers y sont définis d'une manière moins absolue, et que, par conséquent, on peut y apprécier avec moins de certitude les faits de transformation. Toujours a-t-on pu constater avec certitude les altérations des roches quarzeuses, telles que le changement du grès à tissu arénacé en quarz compacte ou quarz rock ; modification qui se produit d'une manière analogue dans les fourneaux et qui représente le degré le plus simple du métamorphisme. Comme dans le cas des marbres, la stratification a disparu dans ces roches quarzeuses de même que le tissu arénacé ; la structure est devenue massive et fragmentaire. La pénétration de principes cristallins, tels que la tourmaline, le mica (Cornwall), le talc, le diallage, le grenat (Alpes), est un fait commun, ainsi que celle de principes métallifères (galène, blende, etc.) : principes tout à fait étrangers aux roches éruptives.

Les roches argileuses, d'une composition plus compliquée que les précédentes, présentent des faits plus variés encore dans leur métamorphisme. Ainsi dans le degré le plus simple elles sont devenues dures et indélayables : c'est le schiste argileux. Le mica, qui, par sa décomposition, avait fourni une partie des éléments sédimentaires de ces roches, y cristallise de nouveau ; les particules de quarz se recherchent, se rassemblent en nodules, en amygdales; la roche passe au micaschiste. Les éléments feldspathiques, qui peuvent également exister dans les roches argileuses, cristallisent, et la roche devient du gneiss ; les granites, d'abord décomposés et détruits

par l'action des eaux, sont ainsi reconstitués par le métamorphisme, et ne conservent plus d'autre indice de leur passage à l'état sédimentaire que cette structure fissile et feuilletée qui distingue les gneiss.

Ainsi donc l'étude du métamorphisme conduit à conclure qu'aux époques géognostiques les plus reculées, dont les produits sédimentaires ne sont parvenus jusqu'à nous que si profondément modifiés par des actions postérieures, les dépôts appartenaient, comme dans les périodes plus récentes, à des éléments calcaires, quarzeux ou argileux : elle nous explique d'avance comment il a pu se faire que les terrains jurassiques et crétacés des Alpes, qui, d'après l'analogie avec la plupart des dépôts de ces mêmes époques, devaient présenter ces trois roches à l'état lithoïde et terreux qui caractérise les dépôts de sédiment, aient pu prendre la texture cristalline et emprunter l'apparence des terrains de transition.

La plupart des substances cristallisées qui composent les collections minéralogiques appartiennent à des roches métamorphiques. Ainsi les minéraux variés de l'Oisans, la prehnite, l'épidote, le quarz prismé, l'albite, l'anatase, etc., sont rassemblés dans les cavités d'une argile du terrain jurassique devenu un stéaschiste cristallin sous l'influence des granites postérieurs. Les cristaux si variés du Vésuve ne sont pas rejetés par les volcans; ils appartiennent aux tufs métamorphiques de la Somma : tels sont l'idocrase, le mica, l'amphibole, le grenat, la vollastonite, la nepheline, le feldspath, etc. Les minéraux du Saint-Gothard, le disthène, la staurotide, l'albite, etc., de la vallée d'Ala en Piémont, d'Arendal en Norvége, etc., proviennent des roches calcaires, quarzeuses et surtout argileuses à l'état métamorphique. Enfin les mêmes roches imprégnées de substances métallifères constituent quelquefois des gîtes exploitables : tels sont les calcaires carbonifères du Derbyshire et du Cumberland, les roches calcaires et quarzeuses du lias autour du plateau granitique de la France centrale; gîtes qui annoncent ainsi que les substances métallifères dérivent, comme les phénomènes du métamorphisme,

d'émanations du centre à la circonférence, auxquelles les roches éruptives ont ouvert une issue.

Ces détails sur les relations d'origine et de composition des diverses roches entre elles étaient nécessaires pour fixer les idées sur les différences qui peuvent exister entre les divers modes de gisement. Tous les faits qui ne sont ici qu'indiqués se développeront ultérieurement. Nous ne pouvons actuellement mieux aborder la question d'application, qu'en jetant un coup d'œil rapide sur les divers usages pour lesquels on a pu tirer parti des trois genres de roches; quarzeuses, argileuses et calcaires, appartenant aux diverses époques sédimentaires, ainsi que des roches ignées qui s'y sont intercalées ou qui se sont amoncelées, épanchées à leur surface.

Emploi des roches dans les constructions.

Les divers terrains ou gîtes généraux fournissent toutes les pierres employées dans la construction, le pavage, ainsi qu'une partie des roches utilisées dans l'industrie ou dans l'ornement. Peu de ces matériaux ont assez de valeur pour supporter des transports considérables, et chaque pays a dû chercher dans son propre sol les éléments principaux de ses constructions. Aussi la constitution géologique des contrées a-t-elle exercé une influence très-remarquable sur les formes et les caractères des édifices; influence qui s'est étendue sur les arts et jusque sur les mœurs des habitants.

Les *terrains de transition* sont presque toujours accompagnés de granites qui peuvent fournir les pierres d'appareil à la fois les plus solides, les moins fissurées et les plus durables. Mais ces roches, difficiles à extraire, coûteuses à tailler, n'ont ordinairement servi qu'aux édifices publics et aux constructions de luxe ou de défense. Les constructions particulières ont dû rechercher des matériaux moins chers; et le terrain de transition n'a pu leur fournir que des roches quarzeuses ou des schistes employés comme moellons et peu propres à former des constructions élégantes : les gra-

nites ont été réservés pour faire seulement les chaînes en pierres taillées, les encadrements de fenêtres, balcons, appuis, escaliers. Aussi dans les contrées de transition la majeure partie des constructions, faites avec ces éléments et recouvertes d'enduits peu durables et d'un entretien difficile, présentent toujours une apparence négligée. Telle est en partie la ville de Lyon; où la plupart des maisons contrastent avec les édifices publics construits en calcaires secondaires; tels sont Brest, Cherbourg, où le contraste est encore plus pénible avec les magnifiques constructions des ports militaires. Le granite homogène peu micacé est donc, dans les contrées de transition, la pierre d'appareil par excellence; les couches schisteuses de ces terrains, assez défavorables à la construction, renferment par compensation les schistes ardoisiers, qui fournissent la couverture la plus élégante et la plus économique.

Le granite et les schistes ardoisiers peuvent supporter des transports considérables. Ainsi on a reconnu qu'à Paris la roche la plus résistante, et par suite la plus économique pour les bandeaux de trottoirs et certains dallages, était le granite exploité près de Cherbourg. Dans plus d'une occasion le granite a été également amené comme pierre d'ornement : il suffit de rappeler les beaux blocs de granite gris de Laber, en Bretagne, qui composent le piédestal de l'obélisque de Luxor, lui-même de granite rose d'Égypte; et le beau granite porphyroïde de Corse qui sert de soubassement à la colonne Vendôme. Quant aux schistes ardoisiers, leur extraction aux environs d'Angers s'élève annuellement à près de deux millions. Cette ardoise, exploitée jusqu'à près de cent mètres de profondeur, constitue un banc puissant dans la formation silurienne; elle est d'une qualité tout à fait supérieure par sa structure régulièrement schisteuse, sa texture fine et inaltérable. Les ardoises de Fumay, dans les Ardennes, exploitées pour l'est de la France, celles de Maurienne, importées dans les villes du Midi, ne possèdent pas les mêmes qualités, et on ne peut guère leur comparer que les schistes ardoises de Tarentaise.

Les parties supérieures du terrain de transition contiennent encore des couches de calcaire dur, compacte, quelquefois même saccharoïde, de couleurs foncées, qui peuvent fournir d'excellentes pierres d'appareil ; mais ces couches sont le plus souvent très-fissurées, et les pierres d'appareil y reviennent par conséquent cher. En résumé, les constructions sont peu favorisées sur les terrains de transition par les roches qu'ils renferment ; et si l'on considère que les contrées ainsi composées sont généralement celles dont le niveau est le plus élevé, qu'elles sont en outre les plus accidentées et les plus montagneuses, on ne sera pas étonné de constater en même temps que ces contrées sont aussi les moins peuplées, et qu'il a fallu des circonstances exceptionnelles pour que les villes importantes précédemment citées aient pu s'y développer.

Les *terrains secondaires* renferment en abondance la pierre de construction par excellence, le calcaire. Les calcaires secondaires sont assez généralement compactes, et par conséquent assez coûteux à tailler ; mais leur solidité donne aux édifices une durée précieuse, et la vivacité des arêtes s'y conserve de la manière la plus heureuse.

Et d'abord, à la base de ces terrains, le calcaire carbonifère, foncé en couleur, souvent veiné de blanc, d'autres fois pénétré d'une multitude de débris fossiles qui se détachent en blanc sur un fond noirâtre, calcaire compacte et solide, fournit non-seulement une belle pierre d'appareil, mais la plus grande partie des marbres communs noirs, veinés ou tachetés, appelés en France petits granites, et qui nous viennent à très-bon compte de Belgique. Cette formation, excellente pour la construction, n'existe en effet qu'en Belgique et dans le nord de la France ; on la trouve en abondance dans les constructions de Mons, Namur, Dinant, Tournay, où elle fournit en outre une pierre à chaux de première qualité.

La formation houillère proprement dite ne présente que des grès grisâtres qui puissent servir aux constructions : St-Etienne en est bâti. Lorsque ces roches sont bien saines et presque exclusivement quarzeuses, comme à St-Etienne, elles sont très-résis-

tantes. Edimbourg, Bristol, sont également bâtis en grès houiller. Le plus souvent en France ces grès sont mélangés de feldspath d'une facile décomposition, et sont par conséquent peu solides et peu durables. Quant aux schistes houillers, ils se délitent tous à l'air et ne doivent pas même être employés comme moellons. Nos bassins houillers du Midi sont donc généralement pauvres en pierres de construction ; St-Etienne emprunte d'ailleurs à ses grès une couleur sombre et triste qui fera préférer toute autre roche lorsqu'on aura le choix. Les grès taillés ont, du reste, l'inconvénient, s'ils sont faiblement agrégés, de ne pas conserver les arêtes ; et, s'ils sont très-durs, les constructions de deuxième et troisième ordres, qui ne peuvent supporter les frais de taille, ont toujours un aspect misérable.

Les formations arénacées supérieures à la formation houillère, le grès rouge, le grès bigarré, le grès des Vosges, fournissent pourtant de bons matériaux. Le grès bigarré surtout est recherché dans la construction parce qu'il est divisé en bancs qui vont toujours s'amoindrissant de bas en haut ; de telle sorte que les parties inférieures fournissent de très-belles pierres d'appareil. La partie moyenne présente des moellons plateux d'un emploi facile et économique, et sert aussi à une fabrication de meules à aiguiser très-développée dans les provinces rhénanes. Enfin les couches presque schisteuses de la partie supérieure fournissent une matière tégulaire, il est vrai très-lourde et peu élégante mais économique et durable. C'est surtout dans les Vosges que ces grès sont exploités ; et la cathédrale de Strasbourg, si hardie dans ses formes, si bien conservée dans ses détails de sculpture et ses arêtes, est un exemple frappant de la grande influence des matériaux sur la conception et la conservation des monuments.

Au-dessus de ces terrains arénacés, les calcaires jurassiques constituent la pierre la plus essentielle au luxe comme à la pauvreté. Il suffit de citer, comme bâties en calcaires secondaires, Besançon, Nancy, Lunéville, Metz, Dijon, Bourges, Poitiers, Niort, La Rochelle ; enfin Bayeux et Caen, dont les carrières ont bâti Saint Paul de Londres et dont les pierres s'exportent encore,

pour tous les détails des ouvrages gothiques, à Anvers, Rouen, etc. Les monuments de Lyon, l'hôtel de ville, l'hôpital, le théâtre, sont bâtis en calcaire de Villebois et de Couzon; les monuments de Nîmes, les Arènes, le pont du Gard, montrent que les Romains mettaient encore plus de soin que nous dans la recherche et le choix des pierres d'appareil. Si l'on examine la position de toutes ces villes, les mieux construites après les villes capitales, on voit qu'elles sont toutes placées sur le relèvement jurassique semi-circulaire qui encaisse les bassins crétacés et tertiaires.

La craie présente des caractères très-différents dans la France septentrionale et méridionale : au nord, l'encaissement circulaire du bassin tertiaire jusqu'aux relèvements du terrain jurassique ne présente que la craie blanche, rarement susceptible d'un emploi passable, plus souvent exploitée comme pierre à chaux que pour la taille; et la craie-tuffeau, qui, sans être une pierre d'appareil réellement solide et durable, a cependant le précieux avantage d'être facile à exploiter, à scier, à tailler, et d'acquérir, en durcissant à l'air, une solidité suffisante. Cette précieuse qualité a été mise à profit tout le long de la Loire : Orléans, Angers, Tours, Saumur, sont bâties en craie-tuffeau; Rouen et le Havre sont dans le même cas, bien que les constructions en briques y soient plus économiques. La craie du Midi est dure, et fournirait de très-beaux matériaux si elle n'était trop souvent fendillée; ainsi la ville d'Angoulême présente de superbes constructions entièrement dues à la craie.

Bien que chaque terrain de l'époque secondaire offre des matériaux mis en œuvre sur beaucoup de points, cependant les assises calcaires sont habituellement si fendillées ou si peu homogènes que bien des contrées ne peuvent se les procurer qu'à grands frais et préfèrent l'usage de la brique. Mais dans ce cas les indications des cartes géologiques peuvent encore être mises à profit pour chercher les parties argileuses des terrains. Il en est de même pour la recherche des calcaires argileux propres à la fabrication de la chaux hydraulique. Ces couches argileuses se trouvent, dans la plupart des cas, vers le plan de séparation des formations :

par exemple, à la base des trois étages calcaires oolitiques; M. Vicat, pour déterminer ses points de recherche ou d'extraction, prend pour guides les lignes de séparation indiquées pour ces étages par la carte géologique de France, et les carrières de Pouilly, de Metz, celles du Nivernais, etc., satisfont toutes à cette loi de distribution.

Les terrains secondaires renferment seuls les argiles convenables à la fabrication directe des mortiers hydrauliques. C'est encore dans ces terrains qu'on trouve des calcaires assez compactes pour servir de pierres lithographiques et fabriquer ces carreaux polis connus sous la dénomination de pierre de liais. Enfin ce sont les mêmes terrains qui, dans les contrées métamorphiques, peuvent fournir les marbres blancs et les marbres de couleur les plus homogènes et les plus propres à la sculpture comme à l'ornement.

Les célèbres carrières de marbre de Carrare, et toutes celles de la Toscane, appartiennent aux couches du terrain jurassique métamorphisées dans toute leur épaisseur par la sortie des roches serpentineuses et porphyriques. Les marbres des Pyrénées appartiennent au terrain jurassique, ou crétacé, dont les assises calcaires ont été transformées à l'état de marbre par des influences analogues.

Les *terrains tertiaires* présentent généralement des caractères tout à fait spéciaux de forme et de composition qui paraissent avoir eu des influences remarquables sur les constructions. Ces derniers dépôts des eaux de la mer constituent, dans presque tous les pays, les contrées les moins élevées, les moins accidentées par des révolutions postérieures: les vallées larges, unies, y présentent les conditions les plus favorables pour des communications rapides, les fleuves y sont plus aptes que partout ailleurs à la navigation. Le sol à peine ondulé des bassins tertiaires devait donc appeler les populations; car, par suite de leur forme et de leur position, à latitude égale ils jouissent, plus que les terrains qui précèdent, d'une température douce qui rend la végétation facile. Enfin on trouve, dans la composition variée de ces terrains, les calcaires assez tendres pour que la taille en soit facile et assez résistants pour les

constructions monumentales; les argiles les plus pures pour les poteries et les faïences; le gypse ou pierre à plâtre, qui rend les constructions si faciles et si propres.

Aussi presque toutes les capitales de l'Europe se sont-elles développées sur le sol tertiaire : Paris, dont le calcaire grossier a fait la plus belle ville du monde; Bordeaux, cette autre capitale du Midi; Marseille, Bruxelles, Vienne, Londres, sont sur le sol tertiaire. Dans des contrées moins célèbres, et sur une plus petite échelle, la belle vallée de la Limagne, celle du Puy ne sont-elles pas, au milieu des déserts volcaniques et granitiques de l'Auvergne, du Velay et du Vivarais, des oasis qui renferment tous les genres de supériorité des bassins tertiaires!

Le bassin tertiaire le plus complet, celui de Paris, fournit non-seulement le calcaire-moellon et la pierre à plâtre pour les constructions ordinaires, la pierre d'appareil pour les façades, le calcaire compacte homogène pour les monuments et les grands travaux d'art, mais aussi la meulière commune pour les constructions qui réclament une pierre résistant à la fois aux chocs et à l'humidité (égouts, parements de fortifications, etc.); le calcaire siliceux-caverneux, ou pierre meulière des moulins, qui, de La Ferté-sous-Jouarre, s'exporte jusqu'en Amérique; le grès pour le pavage; le sable quarzeux le plus pur pour la plus grande partie de nos verreries; l'argile commune à briques (Auteuil, Vanvres), l'argile figuline et plastique pour les faïences (Montereau, Creil), et d'autres roches encore pour des usages moins généraux.

Les plaines alluviales n'offrent guère pour ressources que quelques argiles limoneuses pour faire des briques (Saint-Quentin, Cambray, etc.) : dans les contrées où elles ont une grande étendue on est obligé de bâtir, soit avec le pisé, soit avec des galets, des maisons sans aucune solidité et dont l'aspect misérable atteste la pénurie de ces dernières couches. Cependant on emploie dans l'Ouest (Doué, Savigné), sous la dénomination de grison, une pierre tendre qui appartient à des alluvions anciennes (falhuns de la Touraine). Dans certains cas exceptionnels, les alluvions renferment des blocs assez considérables pour qu'on puisse les débiter

et y prendre des matériaux de bonne qualité. Ainsi aux environs de Groningue on exploite les blocs erratiques, après les avoir cherchés, au moyen de sondes, dans les sables où ils sont noyés.

La recherche et l'exploitation des pierres de construction peuvent rarement être l'objet de travaux assez dispendieux pour que les indications de la science sur la direction et la continuité des bassins et des couches puissent être mises à profit. Les explorations faites depuis des siècles ont en quelque sorte mis à découvert les ressources de chaque pays, du moins dans les limites de profondeur où le bas prix indispensable à ces matériaux doit nécessairement maintenir les exploitations.

Il faut d'ailleurs ne jamais perdre de vue que, dans un terrain, certaines assises, comme, par exemple, l'assise calcaire de la grande oolite, peuvent présenter plus souvent que toute autre cette consistance et cette homogénéité de grain et de structure essentielle pour fournir des pierres d'appareil, mais qu'il s'en faut que ces qualités soient habituelles. Le plus souvent les granites, qui ont cependant plus de chances que toute autre roche de présenter de l'unité dans les caractères, seront ou trop fissurés, ou d'un grain trop friable, ou trop faciles à décomposer pour être exploités, et les carriers auront à découvrir bien des masses avant d'en trouver une saine qui remplisse toutes les conditions désirables pour fournir de beaux blocs. Il ne suffit donc pas d'avoir déterminé le plan d'une couche que l'on croit devoir être bonne, il faut encore rechercher les parties de cette couche qui rempliront les conditions requises; et ce genre de recherches ne peut guère avoir lieu qu'à ciel ouvert et par tranchées. Les parties les plus solides des formations superficielles forment d'ailleurs généralement des saillies qui facilitent à un haut degré les explorations de ce genre.

La production des carrières est d'une appréciation difficile; parce qu'un grand nombre sont ouvertes seulement pour certaines constructions, et abandonnées aussitôt que ces constructions sont terminées. Dans certains départements du Midi, par exemple, ou la plupart des maisons sont construites en pisé, on ne peut constater la valeur ni la quantité des matériaux extraits. On

évalue approximativement à 60 millions la valeur des matériaux de toute espèce employés annuellement en France. Sur cette quantité 40 à 50 millions sont produits d'une manière régulière par des carrières qui sont en production constante ; et l'administration des mines a pu en dresser le tableau ci-joint, qui donne une idée exacte de la répartition de ces produits entre les divers terrains.

On voit, d'après ce tableau, que dix-huit mille carrières sont régulièrement exploitées par soixante-dix mille ouvriers, et produisent une valeur de plus de 40 millions ; valeur qui s'accroît, par les transports, dans une proportion considérable.

En détaillant les divers éléments de cette production, on reconnaît : que, dans les *pierres taillées ou polies*, les *marbres* sont principalement extraits dans le calcaire carbonifère du Pas-de-Calais, dans le calcaire de transition des environs d'Avesnes (Nord), dans les calcaires secondaires métamorphiques de l'Ariége et des Bouches-du-Rhône (Tholouet, Cassin) ; les *meules* sont fournies en très-grande partie par les calcaires siliceux de La Ferté-sous-Jouarre (Seine-et-Marne) ; les *pierres à feu* par le département de Loir-et-Cher, dont les silex débités produisent 40 millions de pierres à fusil représentant une valeur de 100,000 francs ; les *meules* à aiguiser, par les carrières de Bergerac (Dordogne), des Vosges, de la Marne et de la Haute-Marne.

Les matériaux de construction proprement dits, *moellons* et *pierres d'appareil*, et les pierres de *pavage*, représentent à eux seuls la moitié des valeurs extraites des carrières. Il est d'ailleurs naturel de trouver les principaux centres d'extraction autour des villes principales ; car ces matériaux peuvent supporter peu de transports. En tête de la production se trouvent donc le département de la Seine et ceux qui l'entourent, Seine-et-Oise, Seine-et-Marne ; puis le département de la Gironde, qui fournit à Bordeaux des matériaux tertiaires analogues ; celui du Calvados, qui comprend à la fois les exploitations des calcaires oolitiques des environs de Caen et les granites du Cotentin ; les calcaires jurassiques de l'Isère, les calcaires de transition du Nord (Aves-

DÉPARTEMENTS.	NOMBRE total des carrières exploitées.	NOMBRE total des ouvriers.	VALEUR DU PRODUIT DES DIVERSES EXPLOITATIONS. PIERRES taillées ou polies pour les arts et pour l'ornement.	MATÉRIAUX de construction.	DALLES et ardoises.	KAOLIN et argiles.	PIERRE à plâtre.	MARNES, argiles, sables, engrais.	TOTAL.
			fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
Ain	02	456	•	362,870	•	•	•	•	362,870
Aisne	857	2,096	•	104,100	•	121,000	80,000	274,000	579,100
Allier	173	855	•	166,700	•	10,541	15,000	•	201,241
Alpes (Basses-)	21	144	•	•	6,000	1,700	12,000	•	20,500
Alpes (Hautes-)	33	116	•	7,950	11,906	•	4,800	•	24,656
Ardèche	31	208	3,000	200,900	•	81,800	720	•	286,420
Ardennes	486	2,813	15,000	169,560	1,793,945	•	•	•	1,978,505
Ariége	9	59	39,000	•	600	•	•	•	39,630
Aube	75	333	•	125,120	•	11,687	•	•	136,807
Aude	153	518	44,800	50,996	•	32,130	63,720	•	191,036
Aveyron	150	366	•	32,885	23,533	•	485	•	56,904
Bouches-du-Rhône	124	1,083	210,000	144,180	•	98,812	67,732	•	520,421
Calvados	202	1,707	•	837,551	10,360	30,427	•	3,500	881,838
Cantal	21	61	•	17,300	1,400	2,130	•	•	20,830
Charente	63	251	880	245,250	•	•	10,500	•	256,630
Charente-Inférieure	21	384	•	193,490	•	2,800	1,000	•	107,270
Cher	119	303	4,500	93,186	•	5,007	6,359	15,000	04,045
Corrèze	80	242	10,000	40,550	32,400	3,837	•	•	86,787
Corse	5	26	•	30,000	8,000	•	•	•	38,000
Côte-d'Or	110	358	5,400	123,564	•	3,600	178,300	•	310,864
Côtes-du-Nord	3	24	10,530	2,400	2,400	•	•	•	15,350
Creuse	60	171	•	22,950	•	20,000	•	•	42,950
Dordogne	148	660	132,520	259,956	•	9,693	1,800	•	403,969
Doubs	564	732	•	250,0 0	•	•	1,810	•	251,810
Drôme	114	380	•	70,000	•	58,?03	15,400	•	143,400
Eure	378	047	10,000	222,958	•	49,031	•	182,784	465,673
Eure-et-Loir	72	186	•	67,201	•	•	•	5,895	73,096
Finistère	44	703	•	107,023	155,800	2,730	•	•	265,553
Gard	486	1,210	250	537,611	2 ,800	78,300	9,790	•	651,751
Garonne (Haute-)	4	63	•	4,235	•	•	•	•	4,2[illegible]
Gers	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Gironde	803	2,081	•	1,100,210	•	15,350	•	•	1,115,598
Hérault	146	421	•	334,015	8,950	•	67,875	•	410,840
Ille-et-Vilaine	42	669	•	221,647	208,360	212	•	•	430,219
Indre	171	504	66,475	33,970	•	3,930	•	•	104,375
Indre-et-Loire	154	263	•	105,600	•	6,090	•	•	113,960
Isère	110	027	•	704,147	23,737	8,250	•	•	736,134
Jura	296	883	1,800	250,000	•	•	92,176	•	343,978
Landes	482	765	•	289,104	•	65,304	2,094	•	356,502
Loir-et-Cher	303	1,023	57,570	257,750	•	6,360	•	•	324,680
Loire	244	958	800	646,325	•	182,215	20,000	•	809,810
Loire (Haute)	82	210	0,000	63,050	•	3,870	•	•	05,020
Loire-Inférieure	52	512	•	163,464	142,302	3,755	•	•	309,521
Loiret	198	926	25,000	434,440	•	141,000	24,000	240,000	864,740
Lot	135	472	12,000	76,663	•	3,000	•	•	63,063

DÉPARTEMENTS.	NOMBRE total des carrières exploitées.	NOMBRE total des ouvriers.	VALEUR DU PRODUIT DES DIVERSES EXPLOITATIONS.						
			PIERRES taillées ou polies pour les arts et pour l'ornement.	MATÉRIAUX de construction.	DALLES et ardoises.	KAOLIN et argiles.	PIERRE à plâtre.	MARNES, argiles, sables, engrais.	TOTAL.
			fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
Lot-et-Garonne.....	156	756	»	359,822	»	33,371	»	»	392,933
Lozère............	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Maine-et-Loire......	105	2,366	»	503,981	1,420,056	»	»	»	1,924,037
Manche...........	380	1,051	13,688	346,374	52,603	13,415	»	200,000	626,065
Marne............	166	597	57,500	133,170	»	34,500	»	84,000	309,170
Marne (Haute-).....	186	474	74,000	126,665	3,000	520	9,435	2,466	216,086
Mayenne..........	342	4,360	16,500	746,988	191,500	73,300	»	»	1,128,280
Meurthe..........	331	1,117	»	201,785	»	7,424	24,150	»	236,360
Meuse............	350	1,050	»	150,000	»	»	»	»	150,000
Morbihan.........	37	347	»	112,600	»	325	»	»	204,855
Moselle..........	251	819	»	205,272	»	2,160	19,800	»	227,232
Nièvre...........	140	347	15,000	30,00[illegible]	»	25,000	49,950	»	119,958
Nord.............	340	1,600	200,000	460,000	»	[illegible]00,000	»	»	860,000
Oise.............	665	1,960	»	300,400	»	129,100	12,000	148,350	589,850
Orne.............	231	610	»	259,082	»	72,000	»	45,000	376,082
Pas-de-Calais......	336	1,846	857,500	399,783	»	»	»	»	1,257,283
Puy-de-Dôme......	363	1,637	15,000	810,600	»	42,000	170,000	»	1,037,600
Pyrénées (Basses-)..	41	376	11,875	155,195	30,122	»	»	»	197,192
Pyrénées (Hautes-)..	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Pyrénées-Orientales.	89	280	»	25,236	»	29,400	21,420	»	76,056
Rhin (Bas-).......	214	999	1 5,000	199,755	»	95,414	36,000	»	336,169
Rhin (Haut-).......	342	734	»	229,317	»	55,817	17,107	»	302,271
Rhône............	65	507	? 600	452,200	»	32,139	»	»	484,940
Saône (Haute-).....	1,368	1,663	89,234	61,667	30,412	11,955	13,072	»	206,334
Saône-et-Loire.....	318	1,767	35,455	313,388	»	36,000	595,653	»	970,496
Sarthe...........	289	2,633	46,200	834,640	37,250	63,680	»	»	981,770
Seine............	504	2,251	»	2,413,212	75,273	111,102	1,295,067	»	3,900,654
Seine-et-Marne.....	687	3,180	2,500,000	647,000	»	210,000	750,000	210,000	4,317,000
Seine-et-Oise......	469	2,038	30,800	1,375,576	»	32,075	504,500	»	1,942,960
Seine-Inférieure....	106	500	»	109,593	»	140,300	»	»	255,893
Sèvres (Deux-).....	10	47	4,500	29,960	»	»	»	»	34,460
Somme...........	396	785	»	478,135	»	200,000	»	»	678,135
Tarn.............	8	31	»	2,375	»	»	»	»	2,375
Tarn-et-Garonne...	11	91	»	13,725	»	»	»	»	13,725
Var..............	339	714	3,500	265,200	»	9,420	47,733	»	325,350
Vaucluse.........	64	263	»	24,000	»	21,500	34,580	»	30,080
Vendée...........	10	58	2,250	30,730	»	»	»	»	35,980
Vienne...........	54	273	36,000	92,360	»	»	»	»	128,360
Vienne (Haute-)....	65	895	»	68,202	»	255,680	»	»	324,272
Vosges...........	433	1,112	29,145	262,573	17,612	30,322	5,055	»	344,707
Yonne............	82	310	»	111,150	»	31,187	»	»	142,337
TOTAUX......	18,815	70,396	4,704,772	32,188,188	4,105,254	3,040,007	4,271,903	1,410,995	40,350,119

nes), les laves volcaniques du Puy-de-Dôme, les granites et les calcaires secondaires du Rhône.

Ces matériaux de construction sont ceux dont l'extraction varie le plus suivant les circonstances. En ce moment, par exemple, où les constructions de Paris ont pris un accroissement momentané par l'entreprise des fortifications, la quantité des matériaux extraits y a plus que triplé. Les vides ainsi pratiqués autour et même au-dessous de Paris depuis sa fondation sont immenses. Un sixième de la ville, qui comprend principalement les quartiers Saint-Marcel, Saint-Jacques, Saint-Germain, Chaillot, est construit sur ces carrières connues sous la dénomination de catacombes; et on évalue les matériaux qui en ont été extraits à 11 millions de mètres cubes, dont un cinquième en pierres d'appareil. On sait que la plupart des grandes villes possèdent, comme Paris, des catacombes; celles de Rome et de Naples ont de la célébrité et se rapportent évidemment à la même origine.

Deux centres d'exploitation contribuent d'une manière remarquable à la production des *ardoises :* ce sont les carrières d'Angers (Maine-et-Loire) et celles de Fumay (Ardennes), dont les schistes de transition fournissent ensemble plus des trois quarts de la production totale.

Dans la production des *argiles* on remarquera les kaolins des environs de Limoges (Haute-Vienne) et les argiles réfractaires du Teil (Ardèche). On distingue ensuite, par leur chiffre de production, tous les départements dans lesquels les constructions se font en briques à défaut de meilleurs matériaux; tels sont les départements du Nord, de l'Aisne, de l'Oise, de Seine-et-Marne et de la Somme.

Parmi les carrières de *plâtre*, celles du bassin tertiaire de Paris alimentent tout le nord de la France; le Midi est principalement approvisionné par les gypses contenus dans les marnes irisées à Saint-Léger-sur-Dheune et sur quelques autres points de Saône-et-Loire. Les gypses tertiaires du Puy-de-Dôme, ceux de la Côte-d'Or, des environs d'Aix et de Carcassonne, fournissent encore d'une manière notable à la consommation pour les



constructions ou l'amendement des terres. Enfin, parmi diverses terres exploitées, figurent en première ligne les *argiles pyriteuses* du Soissonnais, employées d'abord pour la fabrication de l'alun, de la couperose, et dont les résidus constituent un engrais puissant; et la *tangue*, sable silicéo-calcaire imprégné de vase salée, qu'on extrait surtout sur les côtes de la Manche : la faible valeur de cet engrais est portée par les transports à plus de quinze cent mille francs.

ault

Bᵉˢ du Rhône

Lignites

Var

Corse

Explication des Signes

Cours navigable des rivières.

Canaux exécutés ou en cours d'exécⁿ.

Canaux projetés non concédés.

Chemins de fer exécutés.

Chemins de fer projetés.

Limites des départements.

Limites communes de France et des États voisins.

Limites des trois sortes de terrains distingués par la couleur.

Chefs-Lieux de départements.

Gravé p...

CHAPITRE DEUXIÈME.

COMBUSTIBLES FOSSILES.

ANTHRACITE, HOUILLE, LIGNITE ET TOURBE.

Répartition des combustibles dans la série des terrains.

Les combustibles fossiles sont principalement concentrés dans le terrain houiller, qui constitue en France environ cinquante bassins distincts, groupés la plupart autour des massifs saillants du terrain de transition, ainsi que l'indique la carte (pl. 1). Le caractère principal de ce terrain est de ne former que des bassins isolés et généralement très-circonscrits : l'ensemble de ces cinquante bassins ne représente pas, en effet, la deux centième partie du territoire de la France. La proportion est d'un vingtième en Angleterre, qui, sous ce rapport, est la contrée du globe la plus favorisée ; elle est d'un vingt-quatrième en Belgique. Le nord de la France serait, comme on le voit, privé de houille, si le vaste bassin qui commence à Aix-la-Chapelle et traverse la Belgique ne pénétrait souterrainement jusqu'aux environs de Valenciennes et de Douai en s'enfonçant de plus en plus sous le terrain crétacé.

L'Angleterre possède 1,570,000 hectares de terrain houiller, qui se composent : 1° du grand bassin situé au sud de l'Écosse, occupant une grande partie de l'espace compris entre Edimbourg, Glascow et Dumbarton ; 2° du bassin de Northumberland et de Durham, plus connu sous le nom de bassin de Newcastle ; 3° du bassin du Derbyshire et du pays de Galles. La Belgique compte 150,000 hectares ; la France en compte 280,000, dont les éléments principaux sont : les bassins du Gard ou de la Grand'-

Combe, les bassins de Saône-et-Loire (Blanzy, Creuzot, Epinac), ceux de la Loire (Saint-Etienne, Rive-de-Gier), et le bassin du Nord (Anzin, Denain, Douchy, Vicogne). Le bassin de Sarrebruck en Prusse, ceux de Silésie, des Asturies, le bassin de Pensylvanie, sont ensuite les seuls qui donnent lieu à une production notable; les chiffres d'extraction annuelle suffisent d'ailleurs pour indiquer la concentration remarquable des bassins principaux dans l'Europe occidentale. Ces chiffres ont été pour l'année 1840 :

	Quintaux métriques.
Iles-Britanniques	260 millions.
Belgique	34
France	32
Prusse	12
Silésie	3
Pensylvanie	4

La houille se trouve en couches, et sa présence caractérise d'une manière toute spéciale la formation houillère. C'est donc au-dessus des terrains de transition et au-dessous des dépôts secondaires qu'on doit la rechercher; au-dessus des couches schisteuses, des argiles indélayables et des calcaires à trilobites, au-dessous des dépôts arénacés contenant des débris de porphyres, des calcaires à ammonites, gryphées, bélemnites, etc.

La formation houillère est remarquable par le *facies* spécial de ses grès micacés et de ses argiles schisteuses. Dans les grès, les éléments de feldspath et de quarz, en proportion à peu près égale, parsemés de mica en petites paillettes, passant, dans les parties inférieures, à des brèches et à des conglomérats à gros fragments, sont évidemment le résultat de l'action des eaux sur les roches de transition préexistantes. Les granites et gneiss forment la masse principale de ces éléments, et on peut souvent déterminer les points d'où ils ont été charriés. Les argiles schisteuses, rarement délayables, mais toujours délitables à l'air, forment le passage des schistes argileux de transition aux véritables argiles des terrains postérieurs : ce sont évidemment les parties décomposées des roches qui constituent les grès; mélange impur de kaolin, de silice et de mica, dont les éléments, assez fins pour avoir été tenus en sus-

pension, ne se sont déposés que dans les intervalles où la stagnation des eaux l'a permis. Ces roches alternent entre elles avec grande prédominance des grès; toutes sont fréquemment colorées par du carbone disséminé qui donne à l'ensemble une teinte grise et noirâtre caractéristique. La présence du carbone se dénote encore par celle du fer carbonaté lithoïde qui se trouve soit en bancs subordonnés ou en rognons disséminés dans certaines couches d'argile; par de nombreuses empreintes végétales, enfin par la présence fréquente, mais non obligée, de couches de houille tantôt grasse et tantôt sèche.

Les influences qui ont déterminé les caractères des roches associées aux couches de houille ont été tellement constantes que non-seulement elles sont identiques par tout le globe; mais que dans le cas, assez rare d'ailleurs, où des couches de houille se trouvent dans des formations autres que la formation houillère, les roches de ces formations abandonnent leurs caractères spéciaux pour emprunter ceux que nous signalons.

Ainsi dans la formation anthraxifère, qui précède immédiatement la période houillère, les houilles maigres exploitées dans l'ouest de la France, depuis Doué, Saint-Georges, Chatelayon, Haye-Longue, Montjean, jusqu'à Mouzeil et Languin au delà de Nort, sont accompagnées de grès feldspathiques, micacés, et de schistes charbonneux avec empreintes de calamites, fougères, et sigillaires. Des argiles schisteuses noires à nodules de fer carbonaté accompagnent également les couches de houille secondaire que l'on trouve en certains points du lias près Milhau (Aveyron) et dans l'Yorkshire.

En résumant les diverses positions géognostiques de la houille, on peut en rencontrer : 1° dans la formation anthraxifère, c'est-à-dire, dans la partie supérieure des terrains de transition, au-dessus même des couches siluriennes; 2° dans la formation houillère proprement dite; 3° dans les marnes irisées, où se trouvent les houilles de Noroy et de Gemonval; 4° dans la formation du lias.

Au-dessus de cette dernière position, les débris végétaux ne se présentent plus généralement qu'à l'état de lignites. On trouve

bien accidentellement, dans les lignites des terrains crétacés et tertiaires, des parties dont la texture ligneuse a disparu, et qui offrent les apparences de la houille ; mais ce cas est exceptionnel. Ainsi, par exemple, certains lignites des environs de Marseille, d'autres qui existent dans les couches tertiaires de la Calabre, présentent le tissu et les caractères de la houille, mais ces faits accidentels, qui établissent entre les houilles et les lignites ces passages minéralogiques qui existent même entre les roches les plus distinctes, ne peuvent porter atteinte aux règles de gisement constatées par les observations géologiques. Il en est de même pour cette autre loi qui attribue les tourbes uniquement à l'époque alluviale et à l'époque actuelle.

Les houilles maigres et l'anthracite paraissent être généralement d'un âge plus ancien que les houilles grasses ou flambantes. Cette classification est suffisamment indiquée par la nature généralement sèche des combustibles exploités dans le terrain anthraxifère de l'Ouest. Dans le Nord, les houilles maigres de Fresne, Vieux-Condé, Bruille sont évidemment inférieures aux couches grasses d'Anzin et de Denain. Les couches trouvées dans le calcaire carbonifère à Château-l'Abbaye sont de véritables anthracites. Les anthracites des environs de Roanne, ceux des États-Unis appartiennent à la formation supérieure des terrains de transition. Mais il faut encore, moins que dans les cas précédents, prendre cette règle d'une manière absolue ; car l'état anthraciteux est très-souvent l'état métamorphique de la houille et même des lignites : les recherches intéressantes de M. Élie de Beaumont sur les anthracites des régions alpines ont démontré ce fait, d'ailleurs assez facile à concevoir. Ainsi donc, en réservant cette question du métamorphisme, on peut classer ainsi qu'il suit les divers combustibles fossiles :

Formation supérieure de transition, ou anthraxifère	Anthracite, couches irrégulières des environs de Roanne ; houilles maigres stratifiées de Maine-et-Loire et de la Loire-Inférieure, houille pulvérulente de Languin.
Formation houillère	Houilles maigres, sèches ; houilles grasses et dures ; houilles grasses et fusibles ; houilles sèches à longues flammes, en couches régulières dans presque tous les bassins houillers.

Formation des marnes irisées et terrain jurassique.	Houille en couches peu épaisses et peu continues, ordinairement assez impures, de Noroy et de Gémonval, des environs de Milhau ; anthracites de l'Isère.
Terrains crétacés et tertiaires.	Lignites de l'île d'Aix, du Soissonnais ; lignites de la Camargue, des environs de Marseille.
Alluvions	Tourbes mousseuses et feuilletées de Seine-et-Oise, de la Somme, de l'Aisne, de la Loire-Inférieure, etc.

Dans cette série de combustibles, M. Régnault a choisi les plus caractéristiques de chaque époque et, après les avoir soumis à l'analyse, il a reconnu que cette succession générale de caractères des combustibles fossiles concordait avec un rapprochement successif vers la composition des végétaux ; de telle sorte que, depuis les anthracites de transition jusqu'aux lignites et aux tourbes de l'époque actuelle, les combustibles fossiles forment une série dont le carbone presque pur forme la base, et qui se charge graduellement de 4, 5 et 6 pour cent d'hydrogène, et de 4, 8, 12, 16 et 30 pour 100 d'oxygène. On peut donc poser en principe, abstraction faite des anomalies du métamorphisme, que, plus un combustible contient de gaz et plus le rapport de l'oxygène à l'hydrogène est élevé, plus le combustible est moderne.

Recherche de la houille.

La formation houillère est la seule où la présence des couches de combustible soit assez fréquente, assez ordinaire, pour qu'il devienne rationnel d'y faire des recherches sans aucun autre indice que la certitude de l'existence de la formation ; c'est-à-dire la reconnaissance des grès et schistes de cette époque. Dans tous les autres cas on ne peut considérer comme indices que la présence même, l'affleurement d'un gîte. Dans les formations anthraxifère et houillère il y a indice rapproché dans les couches schisteuses noirâtres, surtout lorsque ces couches renferment des empreintes végétales et des rognons de fer carbonaté.

Trois cas peuvent se présenter dans une recherche de houille : 1° avoir à rechercher la houille dans un bassin connu, où il existe déjà des exploitations ; 2° chercher la prolongation d'un bassin

houiller sous d'autres terrains superposés, ou même chercher *a priori* si la formation existe ; 3° chercher la houille soit dans le terrain anthraxifère, soit dans les marnes irisées, soit dans le lias, d'après des indices indirects de proximité ou d'analogie avec des gîtes connus.

Dans le premier cas, les recherches doivent être guidées par la connaissance des accidents et de l'allure des couches de houille dans le bassin que l'on explore ; mais on doit admettre en principe que toutes les fois que dans un bassin la direction des couches connues conduit sur un point, et que l'inclinaison consultée donne également l'espoir de rencontrer, à une profondeur convenable, le prolongement des couches connues, une recherche est rationnelle et peut être entreprise. Si, par suite de l'absence ou du trop grand éloignement des exploitations, l'on ne peut obtenir aucun indice sur la position probable de la houille, cette position ne pourra être déterminée que par l'exploration de toute l'épaisseur du terrain, qui devra être foré jusqu'à ses conglomérats inférieurs ou jusqu'au terrain de transition. Les bassins stériles sont des exceptions, il n'y existe guère que des lacunes privées de houille ; et l'insuccès sur un point ne doit pas empêcher les recherches sur un autre. Il y a peu à insister sur ce premier cas ; les détails qui suivent sur les accidents des couches montreront quels sont les faits que l'on doit étudier pour calculer la valeur des indices fournis par la direction et l'inclinaison de la stratification.

La question de recherche du terrain houiller lui-même sous un ou plusieurs terrains superposés peut être posée dans des circonstances très-diverses : quelques exemples les feront apprécier. Certains bassins houillers ne sont connus que par des séries d'affleurements interrompus par les terrains plus récents qui en recouvrent la plus grande partie ; l'analogie de composition des différents lambeaux découverts, l'harmonie de direction et de pendage des couches, enfin l'exemple de quelques exploitations qui poursuivent les couches sous ces terrains superposés, ont conduit à reconnaître et à admettre, dans la plupart de ces cas, la continuité souterraine entre ces divers lambeaux et leur réunion

en un ou plusieurs bassins. Tel est le cas du bassin de Saône-et-Loire, dont les cinq sixièmes sont recouverts par des dépôts arénacés, rouges, de l'époque du trias ; du bassin de Brassac, dont l'extrémité nord est seule à découvert, au confluent de l'Allier et de l'Alagnon, et qui de là se perd sous les terrains tertiaires, de telle sorte que ses limites méridionales sont inconnues ; des bassins d'Alais et de la Grand'Combe, en partie recouverts par le lias. Tel est encore le cas du grand bassin du Nord, affleurant à Aix-la-Chapelle, à Liége, à Charleroy, presque toujours recouvert à Mons par le terrain crétacé, et enfoui, à son entrée en France, sous les terrains tertiaires et crétacés à une profondeur toujours croissante à mesure qu'on s'avance vers l'ouest.

L'expérience a montré que, dans tous ces exemples, les recherches devaient être guidées par le grand principe de la direction non plus seulement des couches houillères connues, mais du terrain de transition qui les encaisse ; que le puits de recherche doit s'écarter le moins possible de l'axe général du bassin, afin d'éviter la chance de tomber sur quelque saillie du terrain de transition ; enfin que les recherches doivent être faites de proche en proche, car le bassin peut s'infléchir, pour prendre une autre direction, ou même se rétrécir et s'interrompre. L'histoire des recherches qui ont eu lieu à l'est de Mons, aux environs de Valenciennes et jusqu'au delà de Douai est l'exemple le plus instructif qu'on puisse consulter à cet égard.

Ces mines furent découvertes en 1734, après dix-sept années de recherches pendant lesquelles on fonça quatorze puits dans les communes de Fresne, d'Etrœux, Quarouble, Bruay et Valenciennes. L'insuccès des premières tentatives ne put décourager le comte Desandrouin. En suivant la direction des couches du bassin de Mons, on les voyait marcher en quelque sorte vers Valenciennes. La superposition du terrain crétacé ne pouvait arrêter la conviction de la continuité, puisqu'en Belgique il faut même le traverser en beaucoup de points pour arriver au terrain houiller. L'allure de ce terrain, en s'approchant de la frontière française, était d'ailleurs trop régulière et trop puissante pour qu'on pût

croire à une suppression subite. On persista donc et c'est ainsi que les mineurs posèrent les principes les plus essentiels de la géologie, et que, forte de leur conviction, la Compagnie de recherches, après une dépense de trois millions, découvrit enfin les mines d'Anzin. Il fut constaté que les couches de houille éprouvaient seulement une interruption vers la ligne de frontière, mais qu'elles se développaient de nouveau sous les communes d'Anzin, Denain, Fresne, Vieux-Condé, Abscon. Depuis cette époque on découvrit encore la houille à Lourches près Douchy, à Bruille et Château-l'Abbaye, sous la vaste forêt de Vicogne et jusqu'à Aniche près de Douai. Enfin de l'ensemble des recherches pratiquées depuis un siècle on a pu conclure que la bande houillère était limitée au sud par une ligne qui part de Montigny-sur-Roc en Belgique, se dirige presque en ligne droite en passant par Etrœux, Saint-Léger, Douchy, et paraît ensuite se courber vers le nord par Emerchicourt, Cantin et Corbehem. Au nord, la limite est une ligne commençant entre Blaton et la forêt de Condé, et se dirigeant vers Flines-les-Raches, entre Douai et Orchies.

Guidé par le principe de direction des couches houillères et des couches de transition, comme on l'a été en cette circonstance, on peut marcher dans les explorations du terrain houiller, sinon avec certitude, du moins avec toutes les garanties que peut fournir la géologie; mais dès que l'on voudra chercher *a priori* le terrain houiller sous ces immenses surfaces tertiaires et secondaires qui le recouvrent peut-être, cette science ne pourra plus fournir que des indications très-indirectes.

Supposons, par exemple, qu'on se propose de chercher le terrain houiller sous Paris. La direction E. O. du grand bassin du nord montre que ce bassin ne peut exister sous Paris. Les bassins houillers de l'est (Sarrebruck), ainsi que ceux du sud, sont complétement limités; aucun indice ne peut donc être fourni par ces terrains. Paris est au centre du bassin tertiaire, il faudra donc traverser les dépôts de cette époque; comme ce bassin est lui-même contenu dans une dépression de la craie qui affleure tout

autour, la continuité souterraine de la craie, d'ailleurs démontrée par le forage de Grenelle, annonce qu'il faudra en outre traverser tout ce terrain dont l'épaisseur est d'environ 500 mètres. Le terrain jurassique, qui enclave le terrain crétacé, présente les mêmes chances de continuité; son épaisseur probable sera au moins celle de la craie : voilà donc le fonçage nécessaire déjà au delà de 1000 mètres. Or, arrivé à ce point, on peut encore être séparé du terrain houiller par deux autres terrains, le terrain du trias et le terrain pénéen. Admettons pourtant l'absence possible de ces deux terrains : quelles peuvent être les chances de succès ?

Si l'on compare les surfaces de transition connues aux superficies houillères qui les recouvrent, on reconnaît que ce dernier terrain n'en est pas un quarantième. Les superficies souterraines et inconnues de ces deux terrains doivent-elles avoir une autre proportion ? Aucune considération ne peut militer en ce sens, si ce n'est que vers le nord le terrain houiller est plus développé que dans les régions méridionales. Prenons la chance la plus favorable; elle nous sera fournie par la superficie de l'Angleterre, où la proportion est un vingtième : cette chance est-elle suffisante pour qu'on puisse s'exposer à traverser 1000 ou 1500 mètres de terrains stériles ? La réponse n'est pas douteuse.

Telles sont les considérations qui peuvent servir de solution à des questions de recherche : calculer la série des terrains à traverser, d'après la position géologique du point proposé, les épaisseurs probables de ces terrains, puis enfin les chances d'après les conditions des surfaces connues. Quant à rechercher la houille ou l'anthracite dans le terrain de transition, les chances de réussite seront encore tellement inférieures à celles qu'offre le terrain houiller qu'on ne peut baser aucun travail sur cette hypothèse.

Ces considérations répondent à l'avance à toutes les recherches qui pourraient avoir pour but les couches de combustibles contenues dans les formations supérieures au terrain houiller. Ces travaux ne peuvent être tentés que sur des indices directs

fournis soit par des affleurements, soit par une complète identité des roches avec celles qui accompagnent des gisements connus. Quel que soit, par exemple, le terrain où l'on trouve des schistes bitumineux avec empreintes végétales, carbone disséminé, nodules de fer carbonaté, on pourra pratiquer des recherches dans ces schistes. Enfin un affleurement d'une couche, fût-elle inexploitable, peut conduire à une couche exploitable.

Les lignites ne peuvent de même être recherchés que par affleurement ou par indice de continuité, car autrement on serait entraîné, pour un combustible de peu de valeur, dans des travaux bien plus incertains que les recherches de houille. Il en est de même des tourbes, qui sont d'ailleurs des terrains toujours superficiels et qui ne peuvent, par conséquent, être recouverts que par de faibles épaisseurs de dépôts arénacés.

Gisement et allure des couches de houille.

La houille, quelle que soit la formation dans laquelle elle se trouve, affecte la forme de *couches* d'épaisseur et de continuité très-variables, mais dont le caractère constant est de se conformer à toutes les allures des couches de schistes et de grès houiller entre lesquelles elles sont comprises. Cette stratification est indiquée non-seulement par les limites du toit et du mur, mais encore par les variations de nature, de pureté, qui ont lieu généralement suivant des lignes parallèles à celles du toit et du mur; par des filets de schiste intercalés, et par des *barres* continues qui divisent les couches en plusieurs assises. Enfin les houilles elles-mêmes présentent souvent un grand nombre de délits, de veines qui rendent sa structure *rayée*, *plateuse*, suivant le sens de la stratification.

La stratification de la houille ne doit pourtant pas être considérée comme absolue, et être comparée à celle des couches calcaires ou argileuses des terrains sédimentaires, ni même à celle des grès et des schistes qui alternent avec elle. Certains gîtes présentent des formes massives, ondulées, sans que ces ondula-

tions soient motivées par l'allure du terrain, ce qui démontre que l'origine de la houille comporte à la fois des couches minces continues et de la plus grande régularité, et des couches puissantes tellement limitées et irrégulières qu'elles peuvent être assimilées à des amas. Les détails ultérieurs sur les formes et allures de ces principaux gîtes fixeront parfaitement les idées à cet égard. Les couches minces et régulières de nos bassins du Nord et des bassins belges (fig. 7) et les couches épaisses et limitées de Montchanin (fig. 2, 3 et 4) représentent les deux cas extrêmes du gisement.

Le nombre des couches de houille dans un même terrain paraît, ainsi que leur puissance et leur continuité, sujet à de très-grandes variations. Cependant il y a une certaine liaison entre ces diverses conditions : les couches minces et régulières sont assez ordinairement continues et multipliées; les couches puissantes et inégales sont, au contraire, limitées dans leur étendue, et rarement il y en a plus de deux ou trois superposées dans le terrain qui les renferme. Ainsi, dans le bassin de Mons, on compte plus de cent couches de houille distinctes, dont la puissance ordinaire varie de m. 0,20 à 1 mètre 50. Dans les houillères du Nord, il y a peu de centres d'exploitation qui ne comptent six, huit, douze couches de houille et au delà; mais leur puissance maximum ne dépasse pas un mètre, et la plupart de celles qui sont exploitées n'ont que 0,60. Ces couches sont séparées les unes des autres par des couches de schistes et de grès fins, et l'allure de ce terrain se maintient d'une manière continue sur des longueurs de trois, de six kilomètres, et il est même probable qu'elle existe sur des longueurs encore plus grandes. Entre Fresne, Vieux-Condé, Bruille, Château-l'Abbaye, où sont placées les couches de charbon maigre, et Vicogne, où les mêmes couches ont été retrouvées, il y a des distances de dix, douze et quinze kilomètres.

Cependant on ne doit pas, même dans le cas d'une très-grande régularité, supposer aux couches de houille une continuité égale à celle du terrain houiller. Par exemple, il y a, comme nous

l'avons dit plus haut, interruption entre Valenciennes et la frontière belge; de telle sorte que les couches d'Anzin ne sont pas celles de Mons, et que celles-ci n'ont de leur côté aucun rapport de continuité avec celles de Liége ou de Charleroy. Les mêmes remarques peuvent s'appliquer à d'autres bassins houillers : ainsi, dans le bassin de la Loire, les couches de Rive-de-Gier ne sont pas les mêmes que celles de Saint-Etienne. On peut donc, dans un bassin de quelque étendue, considérer la houille comme formant, dans les couches de grès et de schistes, des districts spéciaux, souvent isolés les uns des autres par des parties stériles, et dont les couches, différentes de nombre et de puissance, n'ont entre elles aucun rapport de continuité.

Lors donc que dans un pays on aura trouvé les grès et les schistes houillers, on n'aura pas pour cela trouvé la houille; fût-on sur le prolongement en direction ou en inclinaison de couches connues. Pour former une hypothèse probable à ce sujet, il faudra d'abord étudier les conditions spéciales du terrain sur lequel on opère et calculer, d'après les parties connues, les chances que l'on peut avoir.

Il existe une différence très-prononcée entre le bassin du Nord et la plupart des bassins méridionaux quant aux conditions suivant lesquelles la houille s'y trouve distribuée. Dans le Nord, les couches sont minces et multipliées, une puissance d'un mètre y est déjà assez rare, et la continuité des couches en fait le prix. Dans les bassins méridionaux, au contraire, les couches sont généralement peu nombreuses, mais souvent très-puissantes : une épaisseur de 1,50 à 2 mètres est ordinaire, et celle de 5 mètres et au delà est un fait assez commun; mais les couches semblent alors perdre en développement dans le sens de continuité ce qu'elles gagnent en puissance.

Ainsi les gîtes du bassin de Saône-et-Loire paraissent former des bassins subordonnés au bassin principal, qui est rempli par les grès et les schistes houillers. Ces bassins subordonnés sont orientés comme le bassin qui les contient, et ont, en outre, des proportions à peu près semblables entre les axes. De plus, la

houille y paraît d'autant moins continue qu'elle est plus puissante. Dans le vallon du Creuzot, la grande couche exploitée a 12 mètres de puissance moyenne. Dans les renflements elle a jusqu'à 40 mètres du toit au mur. En direction elle ne se continue que sur 1800 mètres; et, à ces limites, ses extrémités divisées, appauvries, présentent tous les symptômes d'une suppression totale.

La couche de Montchanin (fig. 2), fortement inclinée, dont la puissance atteint jusqu'à 70 mètres, mesurés du toit au mur, représentant, par conséquent, la couche la plus puissante qui soit connue, est également une des plus limitées en direction. En effet, dans les parties supérieures de l'exploitation, cette direction est d'environ 600 mètres (fig. 3), au bout desquels le gîte se

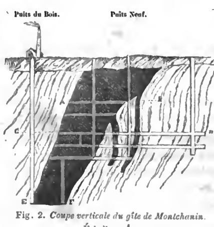


Fig. 2. Coupe verticale du gîte de Montchanin.
Échelle $\frac{1}{4000}$

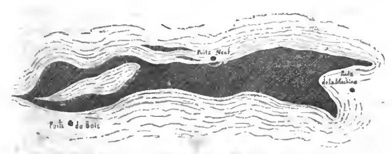


Fig. 3. Coupe horizontale du gîte de Montchanin, suivant A B.

Échelle $\frac{1}{8000}$

termine assez brusquement en s'enchevêtrant dans les roches du toit et du mur; à un étage inférieur d'environ 30 mètres au pre-

mier, la direction se réduit à 400 mètres (fig. 4). Cette diminution

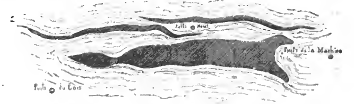


Fig. 4. *Coupe horizontale du gîte de Montchanin, suivant* C D.

graduelle, qui donnerait à la coupe faite suivant l'axe et dans le sens de la direction une forme d'éventail, a été constatée à des niveaux plus bas, de telle sorte qu'il est probable qu'à la profondeur d'environ 150 mètres le gîte se termine en sac ou culot. Ce gîte si puissant forme donc, dans le bassin principal, un bassin des plus limités. Aussi, malgré ces exemples de grande puissance, l'épaisseur totale des couches connues dans ce bassin est-elle en moyenne au-dessous de 10 mètres.

Le bassin de la Loire ne contient dans la partie de Rive-de-Gier que trois couches, dont les épaisseurs moyennes réunies ne dépassent pas 10 mètres; mais dans la partie de Saint-Étienne, la somme des couches réglées s'élève jusqu'à 35 mètres en 15 à 18 couches. Le point le plus riche du bassin de la Grand'Combe a une puissance totale de 25 mètres; on trouve 9 à 12 mètres à Brassac; 14 mètres à Comentry et Doyet; 15 à 20 mètres dans le bassin d'Aubin. Ce qu'il y a de remarquable dans tous ces bassins, c'est que la houille en couches de 5 à 10 mètres se réduisant par des étranglements à 2 ou 3, et d'autres fois se renflant à des épaisseurs de 20 à 30, est un fait ordinaire et normal.

Dans le Nord, au contraire, 10 mètres de puissance totale sont divisés en 14 couches exploitées à Fresne et Vieux-Condé. Les 12 couches d'Aniche ne forment que 7 mètres; 4 couches suivies à Douchy n'ont que m. 3,50; 4, à Denain, m. 2,80 seulement; et 12 mètres ne forment pas moins de 18 couches à Anzin. Il s'en trouve plus encore qui ne sont pas exploitées et dont l'épaisseur est au-dessous de m. 0,30. Mais ces couches sont régulières, conti-

nues, et on n'y rencontre pas de ces renflements et de ces étranglements si fréquents dans les couches des bassins méridionaux.

Cette différence de puissance et d'allure dans les couches de houille concorde d'ailleurs avec des différences assez importantes indiquées par les études géologiques.

Les bassins méridionaux paraissent avoir été déposés pendant la période houillère dans des lacs d'eau douce isolés, circonscrits, et fortement dominés par des sommités voisines d'où les matériaux ont été souvent charriés avec violence en formant des brèches et des conglomérats. En étudiant ces débris, surtout dans les parties inférieures du dépôt, on peut souvent y reconnaître les roches de transition des contrées environnantes. Le bassin septentrional de France et de Belgique, contenant les calcaires carbonifères à sa base, n'est au contraire composé que de grès et de schistes fins, et il paraît d'après la nature des fossiles avoir été formé dans des eaux marines ; représentant ainsi, avec les bassins houillers de l'Angleterre, les accumulations pélagiques d'une époque dont les bassins du Midi ne sont que les termes lacustres. Il est donc naturel de trouver dans ces dépôts septentrionaux une allure régulière et continue que ne comportent pas les dépôts du Midi.

Les bassins méridionaux, déposés dans les lacs isolés d'eau douce, forment la richesse principale de la France. La puissance de la houille y est d'ailleurs presque aussi grande que dans les bassins du Nord ; mais en résumé on ne peut poser aucune règle absolue pour le nombre et la puissance des couches de houille, non plus que pour leur continuité. Les indices qui résultent de la direction de la stratification ont cependant une valeur réelle, même dans les contrées où la continuité présente le plus d'exceptions, en ce qu'ils conduisent toujours à la possibilité de trouver, si ce n'est le prolongement des couches, du moins des gîtes analogues à ceux qui ont été déjà découverts.

Accidents des couches de houille.

Les couches de houille sont rarement dans la position où elles ont été produites, car cette position devait se rapprocher sensiblement de l'horizontale ; condition nécessitée, sinon par le mode de génération de la houille elle-même, du moins par celui des couches de grès et schistes entre lesquelles elle est enclavée. Le plus souvent, l'ensemble du terrain est accidenté non-seulement par des inclinaisons plus ou moins fortes, mais par des plis qui changent ces inclinaisons, contournent les couches de manière qu'un puits vertical peut les couper plusieurs fois. Souvent même il existe un ou plusieurs systèmes de failles qui changent les niveaux, et isolent les unes des autres les diverses parties d'une couche.

Cette accidentation postérieure à la production des couches, et qui résulte de perturbations dynamiques ordinairement régies par des conditions déterminables de direction ; doit être distinguée des accidents inhérents à la production même de la houille, tels que les ondulations du toit ou du mur qui renflent ou retrécissent une couche, et les intercalations de bancs ou d'amygdales rocheuses qui interrompent le régime régulier de la stratification. Néanmoins il y a une liaison évidente entre deux origines d'irrégularités, en ce que les perturbations dynamiques semblent avoir agi quelquefois sur des couches de houille non solidifiées ; ou du moins dans un état tel, qu'elles ont pu être comprimées, étranglées et même complétement supprimées par une compression entre les roches du toit et du mur, et par suite renflées en d'autres points.

La structure contournée, souvent lisse et polie des schistes qui accompagnent la houille ainsi troublée, l'état de la houille elle-même, qui est non-seulement plus brisée que partout ailleurs, mais quelquefois contournée et pour ainsi dire pétrie, semblent confirmer l'existence de ces perturbations presque contemporaines.

On peut d'ailleurs, par des observations de cette nature, distinguer assez ordinairement les perturbations dynamiques et violentes de celles qui résultent des circonstances mêmes du dépôt. Les nerfs réguliers de schistes et les couches ou barres d'argile, presque toujours interposées dans les couches de houille suivant le sens de la stratification, peuvent fournir beaucoup d'indices à cet égard. Ainsi, dans un renflement naturel, non-seulement les nerfs et barres qui existent n'éprouvent pas de perturbations, mais il s'en ajoute d'autres parallèles dans l'épaisseur croissante de la houille. Un étranglement naturel est souvent déterminé par la dilatation des barres, et d'autres fois les barres subissent graduellement comme la houille elle-même les influences de diminution. Dans les accidents dynamiques, les nerfs et les barres sont au contraire brisés subitement et leurs fragments brouillés avec la houille annoncent d'avance au mineur l'accident qui va modifier l'allure de la couche.

L'*inclinaison*, les *plis*, les *crains*, les *brouillages* et les *failles* : tels sont les accidents auxquels sont sujettes les couches de houille.

L'*inclinaison* est l'accident le plus général : il est rare en effet que les couches se présentent dans une position horizontale ; presque toujours, dans un bassin houiller, elles ont des pendages déterminés et par suite une direction fixe. Cette inclinaison des couches



Fig. 5. *Coupe verticale perpendiculaire à la direction de la grande couche du Creusot*
Échelle $\frac{1}{5000}$

n'est soumise à aucune règle; il y a des couches presque verticales, il y en a d'inclinées au-dessus et au-dessous de 45°, et ces inclinaisons résultent évidemment de perturbations, de soulèvements ou affaissements du sol postérieurs au dépôt du terrain. Dans l'exemple fourni par la vallée du Creuzot, fig. 5, les couches ont un pendage de 70°; et les deux pendages opposés se heurtent sur une faille intermédiaire qui paraît avoir brisé tout le terrain et formé l'axe du vallon. Les couches de grès, de conglomérats et schistes qui partagent toujours ces allures inclinées ont dû nécessairement, comme tous les terrains sédimentaires, être déposées dans une situation à peu près horizontale : le terrain a donc été soulevé à une ou plusieurs époques, et ces soulèvements ont donné aux couches une direction et des inclinaisons coordonnées avec la disposition générale du bassin; fait qui de tout temps a guidé les mineurs dans leurs recherches.

La direction des couches est assez généralement la même dans un bassin houiller, mais les inclinaisons varient. Ainsi l'on a remarqué que le plus souvent, sur les lisières opposées d'un bassin, les pendages étaient en sens opposé, et l'on a constaté qu'il y avait quelquefois réunion de ces deux pendages dans le milieu du bassin par une partie plane ou courbe qu'on a appelée fond de bateau, parce qu'en effet la coupe des deux pendages ainsi réunis rappelait assez bien la coupe d'un bateau. Cette disposition, qui a été trop généralisée pour le terrain, en ce sens qu'elle a été très-fréquemment dérangée par des accidents d'une autre nature, et pour les couches de houille, en ce que la continuité n'est pas toujours établie entre les gîtes dont les pendages tendent aussi théoriquement l'un vers l'autre, est cependant, sauf ces restrictions, un fait assez ordinaire. Ce fait indique que les bassins houillers ont généralement été comprimés par des soulèvements latéraux; la coupe ci-jointe, fig. 6, prise au-dessus de Rive-de-Gier, perpendiculairement à l'axe du bassin, indique cette disposition.

Le changement des inclinaisons entraîne souvent l'existence de courbes de raccordement, qui ne sont autres que les *plis* des couches. Dans la plupart des bassins circonscrits les plis sont à

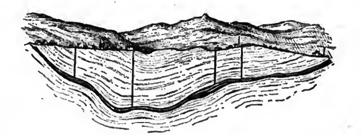


Fig. 6. *Coupe transversale du bassin de Rive-de-Gier.*

grands rayons ; mais dans les couches du grand bassin septentrional, les plis sont quelquefois tellement subits et prononcés qu'ils changent l'inclinaison de 10 et 15°, à 75 et 80° dans le même sens.

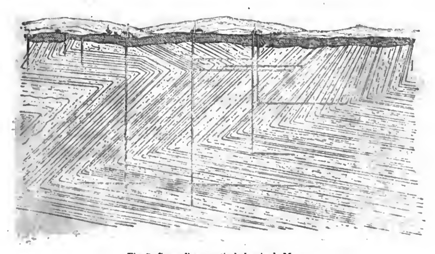


Fig. 7. *Coupe d'une partie du bassin de Mons.*

La coupe du bassin de Mons, passant par les fosses de Piqueries et d'Ostenne, est un bon exemple de ces ploiements qui affec-

tent tout l'ensemble des couches houillères du bassin septentrional. Le plus souvent il y a renflement de la puissance dans l'angle ou *crochon* d'un pli, et l'épaisseur d'une couche d'un mètre peut y être portée à 1 mètre 50 cent. ou 2 mètres. Les couches dont l'inclinaison au-dessous de 20 degrés permet l'établissement de galeries d'exploitation suivant ce sens, portent le nom de *plats*, et l'on appelle *droits* celles qui affectent une forte inclinaison. Les mêmes couches, ainsi qu'on le voit dans cette coupe de Mons, affectent alternativement la disposition de *plats* et de *droits*.

Les plis ont à la fois une direction et une inclinaison, et forment une sorte de gouttière plongeante qu'on appelle *ennoyage*. Dans le bassin d'Anzin, on a remarqué une grande concordance entre la direction et l'inclinaison des ennoyages et on a pu en conclure la forme du faisceau des couches carbonifères. Les plis du terrain sont évidemment l'effet des causes dynamiques qui ont produit les inclinaisons; ils résultent de soulèvements qui ont ondulé la superficie du terrain et de pressions latérales qui ont forcé les faisceaux ainsi ondulés à occuper un espace beaucoup moindre.

Tous les plis n'ont pas les caractères nets et réguliers des couches du Nord et dans les couches puissantes des bassins méridionaux ces ploiements sont accompagnés tantôt de renflements, tantôt d'étranglements, et même de suppression de la couche.

Les *étranglements* et les *renflements* sont des accidents fréquents dans nos couches de houille; ils sont le plus souvent solidaires, et dans quelques bassins les mineurs ont l'habitude de dire, lorsque le toit et le mur s'écartent brusquement : La couche se renfle, elle va se perdre. Un étranglement graduel et prolongé et une division de la couche, qui s'enchevêtre dans les plans de stratification des roches du toit et du mur, constituent un appauvrissement, précurseur ordinaire d'une suppression totale.

Lorsque le toit et le mur, se rapprochant, viennent enfin à se toucher et à supprimer momentanément la couche, l'accident prend le nom de *crain* ou *coufflée*.

Les crains sont des accidents plus fréquents dans les couches puissantes que dans les couches qui ne dépassent pas un mètre. Le plus souvent, en suivant le filet charbonneux qui subsiste presque toujours comme une trace laissée par la houille elle-même ou, à son défaut, en suivant les roches du toit et du mur dont la nature fournit des indices suffisants pour se maintenir dans le plan de stratification, on arrive à retrouver la couche après une interruption plus ou moins longue. Dans les mines de Rive-de-Gier, des lignes de schiste blanc servent ainsi de guide, à défaut de charbon, pour franchir les crains. Dans les mines des environs de Nantes où la suppression est également complète, il faut consulter attentivement les roches du toit et du mur si on veut franchir sans s'égarer les espaces souvent très-considérables qui séparent les prolongements d'une même couche.

Les crains sont quelquefois tellement multipliés, qu'ils modifient l'allure des couches de houille d'une manière qui en complique beaucoup l'exploitation. Ainsi dans les couches de la Loire-Inférieure il y en a une telle quantité, qu'elles ne sont plus qu'une suite d'amygdales séparées par des interruptions aussi longues que les portions de couches elles-mêmes. Cette allure n'est nulle part aussi prononcée que dans les mines de Languin près de Nort : les travaux de ces mines ont constaté l'existence de trois plans de stratification des grès et schistes, inclinés de 75 à 80°, dans lesquels se trouvent des masses amygdalines non continues. Ces masses ont 4 et 6 mètres dans leur plus grand renflement, mais cette puissance se soutient à peine sur des longueurs de 10 et 20 mètres et elle s'étrangle ensuite pour être interrompue par un crain; de telle sorte que la coupe de chaque partie de la couche est réellement lenticulaire et a rarement au delà de 40 à 50 mètres de direction.

On a remarqué, en comparant la position de ces amas amygdalins dans les divers plans de stratification, que le maximum de puissance d'une amygdale correspondait assez sensiblement à une interruption dans un autre plan, et réciproquement. Or, les crains ayant souvent 40 mètres de continuité et au delà, tandis que les



plans de stratification ne sont pas séparés par plus de 10 à 15 mètres de roches, on trouve plus avantageux, lorsqu'on est arrivé à l'extrémité d'une amygdale, de pousser des galeries de traverse, c'est-à-dire des galeries perpendiculaires au plan des couches, afin d'aller trouver un autre amas dans un des autres plans de stratification.

Les couches de Languin sont placées à l'extrémité ouest de la bande houillère qui commence à Saint-Georges-Châtelaison, et dont les couches ont partout une allure analogue quoique moins interrompue. La plupart des charbons de cette bande sont maigres et assez solides; ceux de Languin sont gras, collants, propres à la fabrication du coke et à la forge, mais ternes et d'une ténuité telle qu'on peut les considérer comme réduits en poudre et que l'on s'en est servi dans le pays pour falsifier le noir animal. On appelle ces charbons charbons sourds, parce que, lorsqu'on les abat, ils rendent un son sourd qui résulte de cette structure presque pulvérulente; par opposition, les charbons solides et maigres ont reçu la dénomination de charbons clairs.

Les couches puissantes et d'une allure ondulée ne sont pas les seules affectées par ces accidents; ils se manifestent aussi dans les couches bien réglées et y sont également précédés et suivis de renflements. Dans les couches si régulières de la Belgique, par exemple celles du Bois-Saint-Ghislain près Mons, il existe un assez grand nombre d'interruptions par des crains.

Les exploitants sont quelquefois très-embarrassés lorsqu'ils ont poursuivi la trace d'un crain pendant un long espace; car, ne retrouvant aucun indice de reprise, ils ne savent si l'interruption doit être attribuée à la présence d'un crain ou à la cessation définitive du charbon. Aucune règle ne peut en effet être établie à cet égard; mais cependant l'observation de la structure de l'ensemble peut fournir quelques données déjà indiquées précédemment. Ainsi, dans le cas d'une cessation définitive, cette cessation n'est pas accompagnée, comme dans le crain, de perturbations dans l'allure et dans la texture du charbon, non plus que dans la stratification du toit et du mur. La couche maigrit sans aucun signe

précurseur, elle se divise et s'appauvrit : le charbon devient aussi moins pur, mais sans être brisé ; il acquiert au contraire plus de solidité en se chargeant de parties terreuses.

Les *failles* sont des accidents très-communs dans le plus grand nombre des bassins. Ce sont des cassures qui affectent tout l'ensemble du terrain et y causent des dénivellations plus ou moins considérables. Ces failles ont une direction déterminée, et le plus souvent un bassin est affecté par un système de failles parallèles entre elles ; d'autres fois par plusieurs systèmes suivant des directions différentes, mais composés chacun de failles liées entre elles par ce parallélisme de direction.

L'intensité des failles est très-variable : tantôt elles interrompent à peine le terrain et apparaissent comme des fissures qui ont changé le niveau des deux parties rompues, mais pas assez pour qu'il y ait interruption totale de la houille qui est toujours facile à suivre lorsque le rejet n'est pas de l'épaisseur de la couche. (La couche de Lucy, dans le bassin de Saône-et-Loire, présente fréquemment de ces failles ; l'ensemble de la couche a 10 à 12 mètres de puissance, et les failles occasionnent rarement des rejets

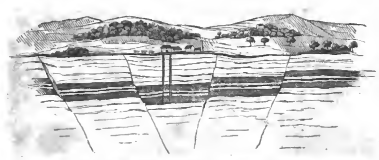


Fig. 8. *Coupe suivant la direction de la couche de Lucy.*

de plus de moitié, de telle sorte que, la couche étant exploitée par deux étages, l'étage du dessus se trouve, par l'effet d'une faille, au niveau de l'étage du dessous de chaque côté du plan de rupture.) D'autres fois, au contraire, il y a isolement complet des deux parties rompues, non-seulement par un rejet ou déni-

vellation très-considérable, mais par l'interposition de la fente, laquelle est remplie le plus souvent par les roches écroulées et brouillées qui en formaient les parois, et quelquefois aussi par des infiltrations postérieures ou même par des roches ignées.

La couche du Monceau, qui n'est autre que le prolongement de la couche de Lucy, dans une autre partie de la concession de Blanzy, présente des failles très-prononcées qui changent à la fois le niveau et l'inclinaison de la couche; et comme il existe un autre système de failles perpendiculaire à celui qui est indiqué par la coupe en direction, il en résulte que la couche est divisée en parallélipèdes rectangulaires tout à fait isolés les uns des autres, et qui long-temps ont été regardés comme des masses n'ayant aucune relation entre elles.

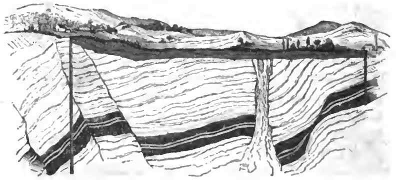


Fig. 9. *Coupe suivant la direction de la couche du Monceau.*

Cette coupe de la couche du Monceau fournit encore l'exemple d'un étranglement causé par ces mouvements postérieurs à la formation du terrain houiller, et d'un *brouillage* qui interrompt totalement la houille. Les brouillages ne sont autre chose que des intervalles compris entre des plans de fracture; dans ces intervalles toutes les couches sont brisées et réduites en blocs anguleux mélangés ensemble.

Le caractère essentiel qui résulte de cette explication des failles et des brouillages, c'est que ce sont des plans qui, dans les bas-

sins, ont une direction et une inclinaison fixes et peuvent, par conséquent, être déterminés de même que les plans des couches de houille. Ces plans de dislocation sont de plus assujettis entre eux à des lois de parallélisme. Il peut y avoir plusieurs systèmes ayant des directions et des inclinaisons différentes, mais toutes les failles d'un bassin sont coordonnées relativement à ces divers systèmes; de telle sorte qu'après en avoir rencontré une il suffit de déterminer sa direction et son inclinaison pour savoir (d'après l'étude de l'ensemble du terrain) quelle peut être son importance relativement au rejet de la couche et dans quel sens ce rejet a pu avoir lieu. Quelques lois, communes aux failles et aux filons, sont d'ailleurs d'un puissant secours pour cette étude; nous les exposerons en traitant des filons métallifères.

Lorsque les failles font partie de celles qui ont déterminé le relief de la surface du sol, les rejets sont en quelque sorte proportionnés aux inégalités qu'elle présente. Ainsi, il y a des rejets de plus de 100 mètres dans les bassins d'Angleterre et de Rive-de-Gier, dont la surface est fortement accidentée. Dans les bassins de Saône-et-Loire elles ont rarement plus de 10 à 30 mètres, et sont encore sous ce rapport en harmonie avec les ondulations de la surface.

On a quelquefois cherché à établir des rapports plus détaillés et plus faciles à saisir entre l'allure des couches de houille et la superficie du sol. Ainsi, par exemple, dans un grand nombre de bassins la direction des couches coïncide avec celle du grand axe du terrain houiller, et ce grand axe est lui-même dirigé dans le même sens que les vallées existantes; de telle sorte que la direction des couches se confond avec celle des lignes de partage des eaux et des vallées principales. Dans quelques autres les plans de stratification du terrain ont non-seulement la même direction, mais encore les mêmes inclinaisons que les versants. Le bassin de Bert offre un exemple frappant de cette disposition : l'inclinaison des couches de houille y change jusqu'à cinq fois en se conformant aux inclinaisons de la surface, et le talweg des

vallées correspond aux lignes de ploiement des couches. La plupart des bassins où les couches affectent la disposition en fond de bateau présentent à leur surface une disposition analogue, c'est-à-dire que les eaux y suivent la direction des couches et que les bords latéraux du bassin sont généralement plus élevés que l'axe.

Il ne faut pas d'ailleurs attribuer une grande importance à ces cas particuliers où les ondulations de la surface ont été uniquement déterminées par les ondulations du terrain stratifié. Les dislocations du sol ont été produites plus souvent par des fractures que par des plissements, et les failles ont laissé subsister beaucoup moins d'analogies entre la surface du sol et celle des couches.

L'étude des phénomènes qui ont dû présider à la formation des combustibles fossiles peut encore fournir des indices précieux pour l'appréciation de l'allure des couches dans les bassins. Nous compléterons donc ces premières données sur les conditions générales du gisement de la houille en résumant la théorie de sa formation. Quant aux faits particuliers qui existent dans chaque contrée et dans chaque bassin, nous renvoyons à l'ouvrage remarquable de MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont sur la description géologique de la France.

Origine de la houille.

Nous avons dit que la présence des végétaux fossiles était un des caractères distinctifs des couches de grès et de schistes qui accompagnent la houille. Environ 300 espèces ont été reconnues, dont les $\frac{5}{6}$ appartiennent aux cryptogames vasculaires, c'est-à-dire aux fougères, calamites, et familles voisines. Ces végétaux forment à peine $\frac{1}{30}$ de la flore actuelle.

Les fossiles de ce terrain consistent : dans les grès, en impressions de troncs et de grosses branches, la plupart couchés horizontalement, accidentellement perpendiculaires au plan de stratification ; dans les schistes, en impressions de feuilles et de tiges minces. Les impressions des feuilles analogues à nos fou-

gères sont faciles à reconnaître. Celles des troncs couchés et aplatis présentent les surfaces cannelées des calamites et les

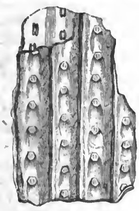




Fig. 10 *Sigillaire.*

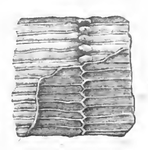


Fig. 11. *Calamite.*

nœuds disposés en quinconces des sigillaires arborescentes. Ces débris abondent surtout vers le toit des couches : et leur accumu-

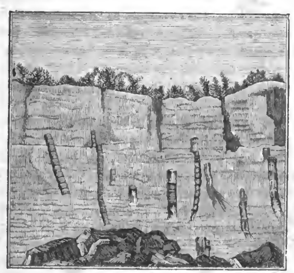


Fig. 12. *Végétaux fossiles disposés verticalement dans les grès de la carrière du Treuil près de Saint-Étienne.*

lation est telle en certains points que les plus petits fragments de la roche en contiennent des empreintes. Dans plusieurs cas on a trouvé des arbres qui semblaient en place, et M. Brongniart a signalé, dans les grès superposés de la couche du Treuil, les restes d'une véritable forêt à l'état fossile, fig. 12. Il est assez fréquent, dans le bassin de la Loire, de trouver au toit des couches de ces arbres fossiles en place; de telle sorte que, leur masse, étant composée de roche et détachée extérieurement par une petite épaisseur de houille, le cône ainsi formé, privé de soutien par l'enlèvement du charbon, tombe subitement dans les galeries et provoque quelquefois des accidents.

La concordance de ce grand développement des fossiles végétaux avec celui des couches de houille a depuis long-temps conduit à penser que ces couches devaient leur origine à des accumulations de végétaux analogues. L'examen de la nature de ces végétaux a d'ailleurs démontré que le développement de la végétation fut singulièrement favorisé à cette époque par une température élevée, une atmosphère humide et très-chargée d'acide carbonique. Les recherches de M. Adolphe Brongniart sur cette végétation, analogue à celle de nos régions équatoriales par l'abondance des prêles, palmiers et fougères arborescentes, ne laisse aucun doute sur cette origine de la houille, et l'on peut encore en trouver la preuve directe dans l'analyse mécanique de certaines variétés.

Les végétaux n'ont pu laisser ordinairement aucune trace de leurs formes dans la houille pure, puisque cette substance résulte du fait même de leur décomposition; il ne peut y avoir eu conservation que lorsque les végétaux encore existants ont été saisis, moulés par une pâte indécomposable qui en a conservé l'empreinte. C'est ainsi que les feuillets des schistes sont réellement les pages sur lesquelles est inscrite l'histoire de la végétation de cette époque.

Mais, comme un grand nombre de variétés de houille contiennent beaucoup plus de cendres qu'il n'y en avait dans les végétaux dont elles ont été formées, comme d'ailleurs ces cendres ne

sont pas de même nature que les cendres végétales, que dans un grand nombre de cas on trouve de très-petites lignes de schistes intercalés, et que les triages intérieurs et extérieurs en fournissent toujours une proportion considérable, ces matières additionnelles peuvent avoir conservé quelques faits de l'historique de la formation des houilles. L'examen des houilles pures ou friables est très-difficile; mais cet examen ne laisse aucun doute dans la plupart des bassins du centre ou la houille est dure et clivable dans le sens de la stratification.

Lorsqu'on procède à l'analyse mécanique de ces houilles, on reconnaît qu'elles sont formées de lames déliées et superposées, composées tantôt d'une houille pure, spéculaire, donnant à peine 2 p. 100 de cendres, tantôt d'une houille schisteuse, terne, qui en contient de 20 à 25 p. 100. Il résulte de ces alternances de lignes mates et brillantes une structure rayée dans le sens de la stratification, et les clivages présentent des restes fréquents du tissu végétal, manifesté soit par des stries qui sont les empreintes conservées de la surface, soit par de petites tiges transformées en charbon végétal pulvérulent. Cette analyse démontre que la houille est hétérogène et composée d'alternances superposées de parties pures qui sont le résultat de la décomposition des végétaux, et de parties terreuses formées par l'action des eaux sur ces mêmes végétaux dont les restes accumulés et couchés appartiennent à de petites espèces du genre calamite; différant en cela des grands végétaux, dont les débris se retrouvent dans les schistes et les grès[1].

Interprétant ces données, on peut conclure que ces petites zones alternantes représentent une production et une destruction périodiques, comme celles qui pourraient résulter, par exemple, des saisons de l'année. Les zones spéculaires sont les végétaux décomposés de cette période; les zones ternes représentent une partie de cette décomposition mélangée d'impuretés telles qu'on

[1] Ces faits sont très-détaillés dans mon Mémoire sur le gisement de la houille dans le bassin de Saône-et-Loire, et dans le rapport de MM. Brongniart, Dufrénoy et Élie de Beaumont, qui l'accompagne.

pourrait les attribuer à l'invasion par des eaux tenant de l'argile en suspension et dont le retour périodique aurait été peut-être une des causes de décomposition. C'est à l'influence de ces immersions qu'il faut attribuer ces effets de lavage, qui ont rassemblé en certains points tantôt des zones plus épaisses de houille spéculaire, tantôt des zones de schistes charbonneux.

Ainsi donc, les houillères auraient été produites en grande partie par la croissance sur place de petits végétaux, à la manière des tourbières; tandis que les grands végétaux auraient été charriés de points plus éloignés et plus élevés, lorsque les oscillations du sol amenaient l'interruption ou la reprise de cette action génératrice, en plaçant le sol au-dessus ou au-dessous du niveau des eaux sédimentaires.

Cette hypothèse explique non-seulement la formation des couches minces et multipliées des bassins du nord de l'Europe, mais elle s'accorde encore avec la génération des couches puissantes et bornées des bassins du midi et des grandes accumulations, comme celles de Montchanin. Si l'on étudie en effet les contours de cet amas stratifié (v. fig. 3) on reconnaît par les enchevêtrements et les alternances des extrémités en direction, que le développement des grès et des schistes était nécessairement simultané au développement de la houille; de telle sorte que l'épaisseur totale indique l'action parallèle des deux influences pendant la même période de temps. Les lignes de contact vers l'ouest et vers l'est, qui devraient être verticales si les deux actions parallèles avaient toujours eu exactement la même intensité, sont des courbes très-irrégulières et enchevêtrées. Les dépôts terreux ont tantôt envahi la houille et même pénétré dans l'intérieur du gîte de manière à y former des masses enclavées, tantôt la houille a pénétré et formé des saillies dans les schistes. Ces plans de contact et ces pénétrations sont de véritables alternances qui prouvent l'équivalence géognostique des deux roches.

La netteté des plans de séparation démontre que les deux principes générateurs n'étaient pas susceptibles de se mélanger; en

d'autres termes : que les dépôts de grès et d'argile ont été effectués dans l'eau, tandis que la houille, au contraire, a été produite au-dessus de ces eaux. La houille n'est donc pas un dépôt sédimentaire proprement dit, produit par des transports de végétaux ou des radeaux flottants, comme on l'a quelquefois supposé; quoique cependant sa production ait eu lieu très-près de la surface des eaux, puisqu'il y a eu de fréquentes pénétrations des deux influences génératrices qui entassaient ainsi côte à côte des produits si différents.

Cette génération des couches de houille dut être excessivement lente. Ainsi, en comparant la végétation de cette époque à celle de l'époque actuelle, M. Élie de Beaumont a trouvé qu'une période de cent ans ne pourrait produire que 15 millimètres de houille. Sans doute la végétation, alors favorisée par l'état atmosphérique, dut être plus rapide; mais ce chiffre doublé, triplé même, assigne encore une période de temps énorme pour la génération d'unee couche de 10 mètres comme il en existe un assez grand nombre. Lors donc qu'il est démontré que des couches de grès et de schistes ont mis autant de temps à se former que la houille elle-même, on reconnaît qu'il en est de nos appréciations, lorsque nous voulons mesurer les temps géologiques, comme de nos mesures de longueur lorsque nous les comparons aux distances astronomiques.

Cette origine de la houille doit évidemment s'étendre à toute la série des combustibles fossiles qui représentent ainsi les accumulations végétales des diverses périodes géognostiques. Les anthracites du terrain de transition ne doivent leur nature sèche et maigre qu'à la différence du mode de décomposition déterminé par les conditions spéciales de la surface du globe à cette première époque. Ce qui est remarquable, c'est que si nos idées théoriques sur la formation du globe nous portent à attribuer cette différence aux phénomènes de température et de pression qui paraissent avoir affecté les roches de l'époque anthraxifère, cette opinion se trouve confirmée d'une manière complète par l'état anthraciteux des combustibles postérieurs à la période houillère qui se rencontrent dans les terrains métamorphiques. On ne peut en

effet douter que dans ce second cas, des phénomènes de chaleur et de pression ne soient les causes modificatrices de couches primitivement houillères ou ligniteuses.

Les lignites tertiaires ont généralement conservé le tissu ligneux à un degré tel qu'on peut reconnaître sur beaucoup de fragments la nature des bois constituants. Le sapin, l'aune, le hêtre, le chêne forment les débris les plus ordinaires des lignites des Alpes, et dénotent ainsi un changement complet dans la végétation depuis la période houillère. Ce sont de véritables forêts fossiles qui diffèrent des gîtes houillers par une accumulation plus circonscrite et moins bien stratifiée.

Les tourbes forment des couches le plus souvent superficielles, quelquefois recouvertes par quelques dépôts alluviens, et représentent le dernier degré de ces transformations. Elles se rencontrent surtout dans les vallées qui ont peu d'inclinaison, sur des plateaux et dans les embouchures où les eaux séjournent. Les sources du Rhin, de la Somme, l'embouchure de la Loire, le delta du Rhin sont des gisements qu'on peut appeler classiques. Dans certaines contrées montagneuses, les Vosges, par exemple, on rencontre la tourbe dans quelques bas-fonds où la stagnation des eaux entretient une végétation brillante et vivace qui caractérise les tourbières en général.

Conditions de la production des combustibles minéraux en France.

La position des bassins houillers en France est évidemment subordonnée à la forme géographique des cinq districts montagneux formés par les terrains de transition : on les voit (fig. 1) disposés principalement vers le périmètre du grand plateau central, et formant un triangle irrégulier dont la base est, à l'est, une ligne menée d'Alais à Autun, et dont le sommet est à la jonction des départements du Cantal, de la Corrèze et du Lot. Les bassins situés sur la ligne de l'est, tels que ceux de la Grand'Combe, de la Loire et de Saône-et-Loire, sont les plus

vastes et ont surtout l'avantage d'être à portée des voies navigables. Les autres, placés dans des contrées montueuses et d'un accès difficile, ne peuvent que subvenir à des consommations locales.

L'extraction de la houille est donc subordonnée à l'existence des voies de communication; elle a depuis vingt-cinq ans suivi leurs progrès, et l'on ne sera pas étonné de voir, d'après le tableau ci-après, que dix bassins mieux situés que les autres produisent les $\frac{5}{6}$ de l'extraction totale. Notre portion du bassin septentrional, bien que l'exploitation y soit plus difficile que dans les bassins méridionaux, fournit le quart de la production, et sur 38,000 usines qui existent en France, 4000, c'est-à-dire plus du dixième, sont venues se grouper autour de Valenciennes, centre principal de la production.

Les éléments principaux du chiffre total de 32 millions de quintaux métriques produits annuellement sont :

	Nombre des concessions.	Surface concédée.	Extraction.
		Hectares.	Quintaux métriques.
Bassin de la Loire.	69	22,714	11,150,000
Bassin du Nord.	15	51,518	7,900,000
Bassin de Saône-et-Loire. . . .	16	32,240	2,150,000
Bassin d'Alais.	22	22,394	1,960,000
Bassin d'Aubin	11	3,000	950,000
Bassin de Littry.	2	16,317	640,000
Bassin d'Épinac.	5	8,292	580,000
Bassin de Sarthe et Mayenne. .	11	25,556	560,000
Bassin de Brassac.	8	3,841	580,000
Bassin de la Basse-Loire. . . .	8	21,513	450,000

Dans la production des lignites, on remarque surtout les bassins de lignites tertiaires des Bouches-du-Rhône, produisant 550,000 quintaux, et celui de La Tour-du-Pin en produisant 410,000.

L'extraction annuelle de la tourbe est de 1,200,000 stères, pesant 4,500,000 quintaux métriques. Cette extraction a lieu dans 1800 tourbières, réparties principalement dans les départements de la Loire-Inférieure qui produit 75,000 stères, de l'Isère (100,000 stères), du Doubs (60,000 stères), du Pas-de-Calais (170,000) de la Somme (290,000), de l'Aisne (70,000), de l'Oise (80,000), de Seine-et-Oise (75,000).

En résumé, la France extrait chaque année environ 37 mil-

lions de quintaux métriques de combustibles minéraux, anthracite, houille, lignite et tourbe, sans y comprendre environ 3 millions consommés par 25,000 ouvriers mineurs et 10,000 chevaux de force employés au service des mines.

Une importation considérable de houilles étrangères se joint à la production du pays pour subvenir à la consommation. Cette importation a suivi, depuis plusieurs années, une marche toujours croissante; elle est aujourd'hui de 14 millions de quintaux métriques. Le territoire houiller de la France pourrait produire bien au delà du chiffre actuel et se développer, non-seulement aux dépens de l'importation étrangère, mais surtout en compensation de la consommation des bois, qui ne s'élève pas à moins de 44 millions de stères.

Ces 44 millions de stères de bois employés au chauffage ou dans les usines métallurgiques, représentent 150 millions de quintaux métriques. En comparant la puissance calorifique des deux combustibles, on trouve que les 280,000 hectares de terrain houiller qui existent en France, produisent le quart de l'effet utile développé par les combustibles végétaux; et ces combustibles sont le produit principal de 8,500,000 hectares de forêts, c'est-à-dire d'une surface qui est 30 fois celle de la superficie houillère. En admettant que nos bassins soient aujourd'hui dans un état d'exploitation normal, il faudrait donc, en surface houillère, pour arriver à une consommation donnée de calorique, sept ou huit fois moins qu'en surface de bois et forêts. Il ne faut pas d'ailleurs perdre de vue que l'exploitation souterraine n'empêche pas l'exploitation agricole de la superficie.

On a souvent parlé de l'épuisement possible des couches de houille dans un temps donné; il existe en effet plusieurs exemples de bassins qui ont été sensiblement appauvris par l'exploitation. Mais si l'on considère l'ensemble de notre richesse houillère, on pourra se convaincre que la surface exploitée est très-faible comparativement à la surface totale de 280,000 hectares, et que l'aménagement actuel peut être continué et même développé pendant plusieurs siècles sans augmentation sensible

dans les prix de revient. Dans un grand nombre de bassins du centre on néglige les recherches parce qu'on est déjà embarrassé de tirer parti des couches qui sont connues, et si l'on avait quelque assurance de vente, même aux prix actuels, qui sont très-bas, beaucoup d'exploitations nouvelles pourraient être créées. Enfin, avec une légère augmentation de dix ou vingt centimes par quintal, on pourrait aborder un grand nombre de couches qui sont aujourd'hui négligées parce que le prix de revient des charbons qui en proviendraient serait supérieur au prix de vente.

Ainsi qu'on l'a vu précédemment, la position trop centrale de nos principaux bassins sur les contrées de transition qui sont les plus élevées, celles où les cours d'eau prennent leur source, et ne permettent par conséquent qu'une navigation artificielle et coûteuse, sont les seules causes qui s'opposent au développement de nos extractions.

Il y a peu de nos bassins houillers qui ne comptent, en réunissant leurs couches, une puissance totale de 10 mètres, et dans beaucoup d'exploitations ce chiffre est même dépassé. Or, le bassin de Newcastle, celui qui exporte le plus au monde, contient 40 couches de houille de m. 0,10 à 2 mètres d'épaisseur, dont les puissances réunies s'élèvent seulement à 13 mètres; sur cette épaisseur de 13 mètres, 9 mètres seulement appartiennent à des couches exploitables. Les bassins houillers ont donc surtout une valeur de position, et le perfectionnement de nos voies de communication ne peut manquer d'augmenter l'importance de nos houillères comparativement à celles qui jouissent déjà de tous ces avantages.

CHAPITRE TROISIÈME.

SEL GEMME ET GYPSE, SOUFRE ET BITUMES.

Gisement du sel gemme et du gypse.

Le sel gemme n'appartient exclusivement à aucun terrain, et on peut le trouver dans presque tous à partir du zechstein. Mais lorsque l'on considère une contrée géologique, c'est-à-dire un de ces grands bassins dont les contours paraissent avoir été déterminés dans la période secondaire et s'être ensuite maintenus avec une certaine stabilité, on reconnaît que le sel et le gypse qui l'accompagne y affectent une position fixe.

Ainsi les masses de sel exploitées en Angleterre (Norwich) appartiennent au calcaire magnésien (magnesian limestone), formation moyenne du terrain pénéen; celles de l'Allemagne se trouvent dans les couches calcaires du zechstein et dans le muschelkalk. Dans l'est de la France, les sels gemmes de Dieuze et de Vic (Meurthe), et tous ceux qui existent entre les Vosges et le Jura, appartiennent, à l'exclusion de tout autre terrain, à la formation des marnes irisées ou keuper. Le sel exploité à Bex (canton de Vaud) est enclavé dans le lias. Dans les Alpes autrichiennes et les Carpathes, les masses de sel sont concentrées entre l'oolite supérieure et le grès vert. La plupart des amas de gypse et de soufre de la Pologne sont dans la craie, et les célèbres salines de Wiliscka sont même dans le terrain tertiaire. En Catalogne, et dans toute la région pyrénéenne, ce sont aussi des couches qui appartiennent tantôt à la craie, tantôt au terrain tertiaire, qui renferment les masses de sel ou les sources salées.

Ainsi, les phénomènes géologiques qui ont intercalé le sel et les amas de gypse qui l'accompagnent dans les dépôts sédimentaires, appartiennent aux deux périodes secondaire et tertiaire ; mais, dans chacun des grands bassins géologiques, la période de production est concentrée dans une époque fixe et peu étendue, de telle sorte que l'on peut y assigner à ces deux substances une position géologique parfaitement déterminée.

Outre la présence presque constante du gypse qui accompagne le sel dans presque tous les gisements précités, soit en couches, soit en amas glanduleux stratifiés, soit en cristaux disséminés dans les argiles et en plaques fibreuses ou cristallines disposées dans toutes les fentes des terrains salifères, deux conditions de gisement semblent essentielles à tout grand développement du sel gemme. D'abord la présence et même l'abondance du calcaire et la nature dolomitique d'une partie des couches ; en second lieu la présence de certaines couches d'argiles ou marnes dont la couleur grise ou bleuâtre est bariolée de rouge. Ces deux caractères ont été signalés par M. Élie de Beaumont dans les terrains salifères les plus éloignés sous le double rapport géographique et géologique. Tels sont les gîtes crétacés et tertiaires des Pyrénées et les gîtes keupriques de la Lorraine. En voyant la conformité des marnes bariolées dont la couleur rouge est surtout frappante et des calcaires dolomitiques qui les accompagnent, on serait tenté de croire que ces deux gîtes doivent nécessairement appartenir au même terrain. Lorsqu'au contraire il est démontré que ces terrains sont très-différents, on ne peut plus attribuer la concordance et l'identité de tous ces caractères qu'aux phénomènes générateurs qui ont déterminé la formation du gypse et du sel gemme.

Les gîtes de sel gemme se rattachent à deux formes distinctes, les couches et les amas couchés dans le sens de la stratification.

Les couches de sel gemme n'ont pas une constance et une continuité telles qu'on puisse les rechercher dans toute une formation et suivant la direction des couches sédimentaires; mais elles en ont assez pour que sur des distances de 10,000 mètres, par exemple, on ait trouvé peu de variations dans

l'allure des couches, dans leur puissance, leur nombre, leur ordre de superposition et les intervalles qui les séparent. Ce mode de gisement mérite donc la dénomination de couche aussi bien que la plupart des couches de houille qui ne présentent pas plus de régularité. La comparaison pourrait de même être soutenue pour certains accidents tels que les ondulations du toit et du mur; mais elle ne peut être complète, parce que le sel gemme affectant ces allures, surtout en France dans les marnes irisées de l'est, n'a éprouvé, ainsi que l'ensemble de la formation, que des perturbations dynamiques peu sensibles.

Le gisement en amas, bien que dans tous les cas ces amas soient couchés dans le sens de la stratification et même divisés par des lignes qui semblent quelquefois concorder avecelle, éveille des idées d'origine toute différente de la sédimentation qui paraît convenir au premier cas. En effet, à l'approche de ces amas, la stratification s'incline en tout sens, et le gîte semble dû à une dilatation postérieure survenue en un point du dépôt, dilatation dont le résultat aurait ainsi été l'intercalation d'une puissante masse amygdaline de gypse et de sel gemme. Les liaisons qui existent en plus d'un cas avec les roches ignées de la contrée semblent autoriser, pour ces amas, l'hypothèse d'une origine postérieure au terrain encaissant.

Couches de sel gemme dans l'Est de la France.

La vallée de la Seille, dans la partie qui traverse l'arrondissement de Château-Salins, a été explorée sur une longueur de 25,000 mètres environ, depuis les environs de Dieuze jusqu'à Pétoncourt au delà de Vic. Suivant cette zone, dirigée à peu près Est-Ouest, huit puits et dix sondages ont rencontré les couches de sel au nombre de treize au maximum, représentant une épaisseur totale de 58 mètres à Dieuze.

Le sel affecte une position constante au-dessus des grès qui séparent les marnes irisées supérieures, des marnes rouges et grises inférieures. Le terrain salifère, ainsi déterminé, s'annonce à la

partie supérieure par la présence du gypse qui se trouve soit en petits lits stratifiés, soit en séries de nodules mamelonnés, soit en veines déliées qui pénètrent les marnes en tout sens. Ces gypses sont fibreux, compactes et cristallisés, souvent ils sont mélangés de nodules d'anhydrite. Un indice plus rapproché est l'argile grise ou bleuâtre, salée, souvent pénétrée de sel rouge fibreux et de polyalithe qu'on appelle *salzthon*. Le salzthon paraît contenir d'autant moins de parties effervescentes qu'il est plus près du sel; il renferme aussi une plus grande proportion d'anhydrite que de gypse.

Le sel gemme le plus ordinaire est d'un gris sale ou verdâtre; par suite de son mélange avec le salzthon, il est accidentellement bitumineux; vient ensuite le sel rouge, puis le sel blanc qui ne représente guère qu'un sixième de la masse totale. Toutes ces variétés sont clivables; mais les plans de clivage ont peu de continuité; ils s'entre-croisent dans tous les sens, et présentent tous les caractères d'une cristallisation rapide et confuse. Les modifications de pureté des couches sont d'ailleurs très-souvent séparées, suivant le sens de stratification, par des filets d'argile.

M. Le Vallois, qui a dirigé comme ingénieur les travaux souterrains remarquables de Vic et de Dieuze, ne paraît pas douter de la correspondance des couches entre ces deux points, éloignés pourtant de plus de 15,000 mètres. Sans doute l'identité d'épaisseur n'est pas maintenue avec exactitude, ce qui a lieu pourtant lorsque les puits ne sont séparés que par 2 ou 3000 mètres, mais l'identité s'observe jusque dans les détails minéralogiques des couches dans la présence, par exemple, de lignes parallèles aux plans de stratification qui divisent les couches en zones diversement nuancées. A Dieuze comme à Vic, les premières couches et surtout la troisième sont caractérisées par la présence des nodules de polyalithe. Enfin, sous le rapport des épaisseurs, il est très-remarquable de voir la troisième couche, ainsi identifiée par les caractères minéralogiques, primer dans les deux cas par sa puissance. Voici les deux coupes des puits de Vic et de Dieuze.

		DIEUZE.	VIC.
		m.	m.
Profondeur jusqu'au sel.		55,10	67,60
Sel.	1re couche.	3,60	2,90
	Salzthon.	0,80	1,50
Sel.	2e couche.	3,60	2,60
	Salzthon.	0,20	0,70
Sel.	3e couche.	13	14,30
	Salzthon.	2,30	1,30
Sel.	4e couche.	2	3,10
	Salzthon.	4,10	0,80
Sel.	5e couche.	1	3,20
	Salzthon.	1,20	0,40
Sel.	6e couche.	0,50	10,90
	Salzthon.	3,70	2,40
Sel.	7e couche.	2,50	2,10
	Salzthon.	4,30	3,50
Sel.	8e couche.	3,10	1
	Salzthon.	3,50	5,80
Sel.	9e couche.	4,60	2,10
	Salzthon.	2,60	4,40
Sel.	10e couche.	9,70	3
	Salzthon.	0,20	3,20
Sel.	11e couche.	5,40	5,30
	Salzthon.	50,10	2,70
Sel.	12e couche.	6,20	14,50

Il est à remarquer qu'à Vic, l'épaisseur salifère à partir de la première couche étant de m. 98,70, l'épaisseur totale du sel est de 65 mètres, celle des argiles attenantes n'étant que de m. 33,70. A Dieuze, l'épaisseur totale des 12 couches de sel est de m. 64,50, c'est-à-dire sensiblement identique à l'épaisseur totale des 12 couches connues à Vic. On connaît en outre une treizième couche de m. 3,10 séparée de la douzième par m. 3,40 de salzthon.

Les couches découvertes sur une longueur E.-O. de 25,000 mètres environ depuis le puits de Pétoncourt jusqu'au dernier puits de Dieuze, n'existent pas seulement dans cette direction. On les a retrouvées à Abondange, situé à 10,000 mètres au nord de cette ligne; après avoir traversé 121 mètres de marnes stériles, elles y présentaient les mêmes caractères. On les a encore découvertes à Rozières-aux-Salines, situé à 20,000 mètres S.-O. de Vic. Ce n'est qu'en s'approchant de la chaîne des Vosges, vers Maizières, à 16,000 mètres S.-E. de Vic, qu'il y a eu insuccès; encore ne

peut-on rien affirmer à cet égard, puisque le sondage fut arrêté à 132 mètres de profondeur.

Les marnes irisées de la vallée de la Seille forment une espèce de golfe dans le muschelkalk; c'est dans l'intérieur de ce golfe que le sel gemme a acquis ce développement considérable dont on ne connaît pas encore la limite inférieure. Ce gîte est donc, comme dans le cas de certains terrains houillers, un bassin subordonné au bassin principal. Quant aux faits géologiques qui peuvent avoir accumulé en ce point une si grande quantité de sel, ils restent inexpliqués. Une observation doit seulement être consignée : c'est que, parmi les diverses variétés de sel, aucune ne contient d'iode.

La propriété salifère des marnes irisées ne se borne pas à la vallée de la Seille; partout où cette formation affleure dans les régions de l'est entre les Vosges et le Jura, des sources salées et l'abondance du gypse annoncent que cette propriété est conservée, sinon au même degré, du moins d'une manière suffisante pour être souvent productive. Les entraves opposées aux recherches par la législation ont seules retardé les explorations de ce terrain si intéressant. Dans les recherches, l'analogie avec les terrains explorés de Dieuze, les couches gypseuses exploitées en un grand nombre de points, enfin les sources salées, peuvent fournir de précieuses indications. On a aussi remarqué que la partie salifère de la formation était inférieure à la couche de combustible située dans les marnes irisées et exploitée à Gemonval, Gouhenans, Corcelles, etc.. Divers sondages entrepris avec ces données et dans les localités où existaient des sources salées ont rencontré le sel gemme, et Gouhenans, situé dans la Haute-Saône, a été un des points les plus favorables aux recherches. Le sel gemme n'y présente d'ailleurs ni la puissance ni la régularité de stratification du district de Dieuze, et on le regarde comme étant en amas plutôt qu'en couches, à cause du peu de concordance dans les indications de sondages rapprochés.

Des obstacles difficiles à surmonter rendent d'ailleurs les fon-

cements de puits très-dispendieux dans les marnes irisées. Ces obstacles résultent de niveaux ou courants d'eau souterrains qui circulent au-dessus du sel gemme, et comme le salzthon n'est pas complétement imperméable, les eaux font irruption dans les travaux si on ne les surveille de très-près et si on ne les contient par des serrements aussitôt qu'elles se montrent. Ces difficultés entravent encore les recherches de sel gemme, et conduisent à exploiter de préférence les sources salées qui annoncent en beaucoup de points sa présence souterraine.

Amas de sel des Pyrénées.

Dans la région des Pyrénées, le sel gemme présente des différences notables de gisement. D'abord ce gisement a lieu, ainsi qu'il a été dit, non plus dans les marnes irisées, mais à la fois dans les terrains crétacés et tertiaires. Le sel, au lieu de se trouver en couches régulières et continues, ne paraît exister qu'en amas. M. Dufrénoy, qui a fait une étude approfondie de ces terrains, a constaté que le gypse et l'ophite, dont le développement est souvent simultané, sont presque toujours accompagnés de sources salées et de sel gemme. Ainsi, le principal centre d'exploitation des sources salées est le cirque de calcaires crétacés d'Anana, cratère de soulèvement dont l'ophite et le gypse occupent le centre; les eaux salées y sortent d'un puisard placé au milieu de l'ophite.

Les sources salées sont fréquentes dans les Pyrénées, et leur salure ne peut être attribuée qu'à leur circulation souterraine au contact de masses de sel gemme. Ce fait est si réel, que, dans les environs d'Orthez, l'observation ayant démontré que certaines sources marquaient un degré de salure considérable, tandis qu'en s'éloignant le degré de salure diminuait dans toutes les directions ou cessait même d'exister, un sondage fut pratiqué en ce point central et à une profondeur peu considérable on rencontra une masse de sel gemme de 10 mètres de puissance.

Dans la vallée du Cardome, deux puissantes masses de sel

Mine de Sel Gemme de Cardonne

Fig. 13.

Masse de Sel Gemme

exploitée à ciel ouvert dans la Vallée de Cardonne (Espagne)

gemme, réunies par leur base, affleurent sur un des versants de la colline du même nom. Ces deux masses affectent la forme d'amas amygdalins. L'une, exploitée, a environ 130 mètres sur 250, et une profondeur indéterminée; elle se compose de sel lamelleux à cristallisation confuse. La partie mise à nu par l'exploitation (fig. 13) se compose de huit couches sensiblement horizontales, ayant ensemble 15 mètres d'épaisseur. Ces couches sont séparées les unes des autres par des marnes rougeâtres qui rappellent les caractères des marnes irisées, et qui se retrouvent du côté de Dax, accompagnant les gypses et les sources salées. La seconde masse, non exploitée, et soudée à la première par la base de telle sorte qu'elles présentent l'apparence de deux renflements d'un même massif, ne paraît pas stratifiée : elle est plus colorée en rouge ou en verdâtre par la marne qui s'y trouve ainsi disséminée en zones contournées, et contient également du gypse intercalé. L'apparence de cette masse abandonnée aux actions atmosphériques est très-escarpée et hérissée de pointes aiguës; et M. Dufrénoy la compare à celle d'un glacier.

Ces masses de sel sont enclavées dans des grès rougeâtres à pâte argileuse, schisteux, appartenant à la période crétacée, et dont les couches se relèvent à leur approche dans toutes les directions avec des inclinaisons de 15 à 20 degrés (v. fig. 13); de telle sorte qu'au point culminant ces couches de grès sont rompues, comme si leur élasticité s'était refusée à une si grande dilatation. Il n'y a donc en réalité aucun rapport entre la stratification apparente du sel divisé en bancs horizontaux dans la masse exploitée, et la stratification du terrain encaissant, qui a éprouvé au contraire des perturbations considérables, lesquelles semblent liées au mode de génération du sel gemme. Le sel gemme serait donc postérieur au terrain crétacé qui le contient et sa présence fréquente dans les terrains tertiaires est encore une preuve de cette origine postérieure. Enfin, la liaison constante du sel et des sources salées avec les amas de gypse et les masses ignées d'ophite, conduit à supposer que l'origine de ces masses intercalées entre les couches sédimentaires est due

à des influences postérieures au terrain encaissant, et que ces influences sont liées à l'éruption des ophites.

Gîtes divers de l'Europe.

Les gîtes de sel gemme exploités en Angleterre et en Allemagne se rattachent à l'un ou l'autre des deux types que nous venons de décrire, et n'ont présenté jusqu'ici aucun fait nouveau qui paraisse de nature à éclairer la théorie de la formation et les méthodes de recherche. Ainsi les couches de Norwich rappellent tout à fait les caractères de celles de la Lorraine; les amas du pays de Salzbourg semblent plutôt conformes à ceux des Pyrénées.

Les masses salifères du pays de Salzbourg, celles de Bex, etc., sont remarquables par leur pénétration dans les couches d'argile et de calcaire où elles se trouvent. Cette pénétration est telle que le plus souvent l'exploitation ne peut avoir lieu que par voie de dissolution, l'abattage direct du sel étant impraticable par suite de son mélange avec les roches.

Nous avons toujours cité le gypse comme une annexe du sel gemme; dans presque tous les cas sa présence est, en effet, consultée comme un indice et un guide. Que le sel gemme se trouve dans le zechstein, les marnes irisées, le lias, la craie ou le terrain tertiaire, il se présente toujours accompagné par le gypse sous forme de bancs ondulés, de rognons glanduleux et mamelonnés disséminés dans les marnes suivant le sens de leur stratification, de plaquettes fibreuses qui remplissent les fissures du terrain, de cristaux isolés ou groupés.

La présence du gypse, qui partage ainsi toutes les circonstances du gisement du sel gemme, est évidemment due à des phénomènes du même ordre; ces deux substances ont été produites ensemble, et résultent de faits géologiques analogues et simultanés.

Dans beaucoup de cas le gypse a été produit seul et n'est pas accompagné de sel, mais on remarque alors que les circonstances de son gisement sont telles que le sel gemme pour-

rait y exister sans anomalie. Ainsi, on trouve les gypses isolés dans les terrains qu'affectionne également le sel; les roches ont la même apparence, le terrain présente la même structure. Nous pouvons citer, comme spécialement dans ce cas, les gypses de Saint-Léger-sur-Dheune, dans Saône-et-Loire. Ils se trouvent dans les marnes irisées, en bancs ondulés, en mamelons botryoïdes, en plaquettes fibreuses et cristallines, et les caractères des roches sont tels qu'il ne leur manque que la salure pour qu'on puisse les identifier au salzthon. Les gypses d'Aix, en Provence, dans le terrain tertiaire, offrent des apparences analogues.

Ces gypses peuvent être appelés salifères, lors même que le terrain ne contient pas de sel gemme, parce qu'ils conservent l'identité de caractères avec ceux qui l'accompagnent réellement. Ils sont caractérisés par leur structure ondulée et mamelonnée, leur texture fine, compacte, souvent cristalline, et par leur blancheur et leur pureté, bien plus grandes que celles des gypses complétement et évidemment sédimentaires, tels que ceux des environs de Paris. Enfin on y rencontre souvent le gypse anhydre, et l'on a même remarqué que dans certains nodules, dans certaines masses, l'anhydrite occupait le centre, tandis que l'extérieur était de gypse hydraté; comme si la masse totale, ayant été d'abord dans le premier état, avait été hydratée postérieurement à la formation. Cette hypothèse semble même expliquer dans beaucoup de cas les renflements du terrain et la structure contournée des marnes autour des masses gypseuses qui semblent y avoir été introduites après coup, et avoir soulevé les couches encaissantes qui cessent d'être horizontales. Ces intumescences résulteraient, en partie du moins, de la dilatation des nodules et des masses anhydres passant à l'état hydraté.

Origine des gîtes de sel gemme et de gypse.

Les grands phénomènes géologiques qui ont présidé à la génération des masses minérales constituant l'écorce du globe terrestre, sont représentés à l'époque actuelle par des phénomènes

analogues qui ne diffèrent des premiers que par une intensité beaucoup moindre. C'est ainsi que l'action des volcans nous explique la production des roches ignées sous toutes les formes qu'elles affectent et que la puissante sédimentation des diverses époques géologiques est rappelée par les alluvions de nos fleuves, les incrustations calcaires de certaines sources minérales, la génération des îles madréporiques, etc. C'est donc en étudiant et détaillant les phenomènes actuels que, dans le cas d'une théorie incertaine, comme celle du gypse et du sel gemme, on peut espérer quelque lumière.

Sous ce point de vue la Toscane paraît être la contrée la plus favorable à l'étude, car elle contient à la fois le plus grand développement connu du gypse salifère à une époque récente, le sel gemme, et des phénomènes actuels (les lagoni) qui paraissent évidemment la suite, la fin du grand phénomène générateur qui a intercalé dans les couches tertiaires ces masses de gypse et de sel.

C'est dans les environs de Volterra que se trouvent les gypses qui fournissent l'albâtre au monde entier. Ce gypse est le plus souvent blanc, compacte et translucide, quelquefois veiné de gris et de jaune; son gisement est la marne grise et bleuâtre appelée dans le pays mattajone. Ces marnes ont été fortement accidentées, et à Volterra même leurs couches ont été inclinées et soulevées; elles appartiennent à l'époque tertiaire et laissent échapper des sources salées qui ont amené la découverte des couches de sel gemme.

Ce que l'on remarque dans les environs de Volterra, c'est à la fois la pureté et la puissance du gypse. Le gisement le plus ordinaire est en grosses masses arrondies, à surfaces noduleuses et mamelonnées, enclavées dans les couches de marnes, et se succédant de distance en distance dans le sens de la stratification, que cette stratification soit d'ailleurs horizontale ou inclinée. Les marnes encaissantes ne présentent pas de phénomènes de perturbation ou d'altération qui puissent faire supposer une intercalation du gypse postérieure à leur dépôt. Les gypses, quoique

non continus, sont évidemment stratifiés et contemporains du mattajone; leur groupement amygdalin ne peut résulter que de l'affinité des molécules amenées par des causes spéciales dans les eaux qui tenaient en suspension et déposaient les marnes.

Le sel gemme paraît déposé, comme le gypse, suivant les lignes de la stratification du terrain. Il est exploité par voie de dissolution après avoir été atteint par plusieurs puits ,et la coupe la plus profonde fournie par un sondage a indiqué :

m.	
44	de marne bleue contenant des gypses albâtres.
4,65	sel gemme.
6	marne avec gypse.
4,30	marne salifère analogue au salzthon.
11,40	marne bleue.
9	marne salifère.
7,90	marne gypseuse.
12,50	sel gemme.
50	marnes bleues.

De telle sorte que le terrain salifère et gypseux de la Toscane peut être considéré comme appartenant à la classe des gisements stratifiés.

La nature des causes spéciales qui ont intercalé le gypse et le sel entre les plans des couches de ce terrain, l'un des plus récents parmi les terrains salifères, et qui ont disséminé ces deux substances dans les matières marneuses qui le composent, semble d'ailleurs liée en Toscane à l'existence des *lagoni*, arrière-phénomènes de ceux qui auraient agi à l'époque tertiaire avec bien plus d'énergie, et auraient modifié les dépôts au moment même de leur formation en y amenant des matières additionnelles.

Les lagoni sont des éruptions de vapeurs aqueuses à une température de 105 à 120 degrés. Ces vapeurs, s'échappant avec force des fissures du sol, s'élèvent en colonnes blanches de 10 à 20 mètres de hauteur ; elles exhalent une odeur assez prononcée d'hydrogène sulfuré, altèrent les roches qu'elles pénètrent en les désagrégeant, leur donnent une teinte blanche, et les pénètrent de gypse cristallin et concrétionné accidentellement de soufre et d'acide borique.

Ces lagoni ou soufflards sont disposés par groupes de 10, 20,

30, à Monte-Cerboli, Castel-Nuovo, Monte-Rotondo, suivant une ligne à peu près droite, de sorte que leur éruption paraît due à une faille ou fracture préexistante qui aurait 30 à 40 kilomètres de longueur. L'industrie en a tiré parti en leur faisant traverser des bassins remplis d'eau, dans laquelle ils laissent en dissolution l'acide borique qu'ils contiennent, ces dissolutions étant ensuite évaporées par la chaleur des soufflards eux-mêmes. Le fait géologique le plus remarquable est la faculté génératrice de ces vapeurs à l'égard du gypse qui est formé en petits cristaux et en concrétions cristallines dans les terrains marneux et calcaires traversés.

Que l'on fasse intervenir dans des golfes ou des lacs d'eau salée la puissance génératrice et évaporatrice de ces lagoni, et l'on pourra concevoir ces alternances et ces pénétrations du gypse et du sel gemme dans les dépôts vaseux de cette époque. Les gypses cristallins en petites couches, en mamelons botryoïdes disséminés dans les couches marneuses, résulteront naturellement des phénomènes d'affinité dont presque tous les terrains présentent des exemples par des rassemblements analogues de matières siliceuses, de fer carbonaté, etc. Ces couches gypseuses représenteront les périodes d'activité des vapeurs et de perturbation des eaux, tandis que les couches salifères représenteront les périodes tranquilles de refroidissement et de dépôt des matières dissoutes. Les borates de magnésie, qu'on rencontre souventdans les gypses trouveraient d'ailleurs une explication naturelle dans la nature des lagoni tels qu'ils sont aujourd'hui.

Enfin, la présence des dolomies stratifiées dans les terrains salifères, celle du peroxyde rouge de fer qui tache si fréquemment les marnes bleues, résulteraient encore de ce genre de génération mixte, dont les produits, soumis à la forme sédimentaire, participent à la fois, par leur nature minéralogique, des faits neptuniens et de ceux du métamorphisme.

Ces idées théoriques ne peuvent d'ailleurs être d'une grande utilité dans la recherche ou l'exploitation du sel gemme. Les faits cités sur le gisement et les caractères minéralogiques habituels

aux terrains salifères, les inductions qu'on peut conclure par analogie avec ces caractères, enfin les observations sur l'existence et le régime des sources salées, leur intensité, leur degré de salure, etc., sont des guides plus rationnels et plus sûrs.

Les couches imprégnées de bitume, telles que les calcaires asphaltiques de Pyrimont près Seyssel, les schistes bitumineux inflammables qui se trouvent dans les départements de Saône-et-Loire et de la Haute-Saône, les sables bitumineux du Haut et du Bas-Rhin, etc., doivent probablement les bitumes et les huiles qu'ils contiennent à des phénomènes du même ordre agissant pendant ou après le dépôt des couches. Les sources asphaltiques, quelquefois chargées d'hydrogène proto-carboné, sont fréquentes à la fois dans les terrains salifères et dans les terrains volcaniques; on est donc conduit à penser que, dans l'un et l'autre cas, ces sources sont des émanations dirigées du centre à la surface du globe, restes d'actions ignées autrefois plus énergiques.

Enfin on doit encore attribuer au même ordre de faits, les schistes alunifères de la Toscane et de la Tolfa, les couches calcaires imprégnées de soufre et de sulfates, fréquentes en Italie (Rimini) et surtout en Sicile, ou des marnes supérieures au terrain crétacé contiennent d'énormes quantités de soufre. Ces pénétrations rentrent d'une manière encore plus évidente dans la classe des phénomènes si variés du métamorphisme, et leur existence est constamment liée en Italie à la sortie des roches ignées.

En se reportant à ce qui a été dit précédemment sur la puissance et la continuité des masses de sel gemme, on voit que cette substance est très-abondante dans la nature, que la France est une des contrées les mieux partagées; et que les emplois industriels et agricoles en étant très-multipliés, l'extraction en pourrait livrer des masses considérables à des prix de peu supérieurs aux prix de la houille. Mais la consommation du sel se trouve entravée dans presque toutes les contrées par des droits tellement exorbitants, qu'on a dû renoncer à son emploi dans l'agriculture, et la production des mines et des sources salées est minime, notamment en France, comparativement à celle qui pourrait avoir lieu

sous l'empire d'une législation moins sévère. Les marais salants, où la fabrication du sel peut avoir lieu sans les déboursés nécessités par l'exploitation directe, ont d'ailleurs une part beaucoup plus active dans notre production totale, qui est de quatre millions de quintaux métriques.

L'extraction directe du sel, soit par l'exploitation souterraine des terrains salifères, soit par celle des sources salées qui en sortent, est principalement concentrée dans le département de la Meurthe qui produit annuellement 350,000 quintaux métriques. Les sources salées des départements du Doubs, du Jura et de la Moselle livrent environ 120,000 quintaux. Enfin les terrains salifères des Pyrénées, les sources qui sortent des marnes tertiaires bariolées de Citis et Lavalduc dans les Bouches-du-Rhône, peuvent fournir environ 150,000 quintaux; de telle sorte que les gîtes souterrains n'entrent guère que pour un sixième dans la production de la France.

En Angleterre, où l'établissement des marais salants est très-difficile par suite de l'humidité constante du climat, les mines de sel gemme et les sources salées qui existent dans le Cheshire et le Straffordshire, fournissent annuellement 4,600,000 quintaux métriques, c'est-à-dire un chiffre supérieur à notre production, bien que la richesse totale de ces gîtes ne soit pas plus grande que celle des gîtes de la Lorraine et des Pyrénées. La position interne de l'Allemagne y a donné également une très-grande importance aux terrains salifères.

La production des bitumes a été sujette à de très-grandes variations en France. Les extractions principales ont lieu dans les sables ou grès bitumineux des Landes et du Bas-Rhin qui fournissent en moyenne, dans la première de ces localités, 10,000 quintaux métriques de bitume, et dans la seconde environ 8,000. A ce produit, il faut ajouter 5 à 6,000 quintaux de calcaire asphaltique extraits des roches de Pyrimont, près Seyssel, employé directement pour former, avec les bitumes des localités précédentes, le mastic appliqué sur les trottoirs et chaussées. L'importation des roches asphaltiques, mélangées dans ce but

soit aux bitumes naturels, soit aux bitumes artificiels, s'est élevée dans ces dernières années à plus de 43,000 quintaux métriques ; ces roches sont analogues à celles du département de l'Ain, et sont expédiées par les pays limitrophes de la Savoie et de la Suisse.

La France n'a pas de mine de soufre. On y a long-temps exploité des gîtes de fer sulfuré pour en extraire le soufre et fabriquer avec les résidus des ocres jaunes et rouges, mais aujourd'hui cette industrie est abandonnée et la consommation annuelle de 20 à 22,000 quintaux est presque entièrement importé de la Sicile où l'exploitation de couches calcaires et argileuses pénétrées de soufre est très-active.

CHAPITRE QUATRIÈME.

MINERAIS DE FER STRATIFIÉS.

Les minerais de fer appartiennent à trois positions géologiques très-distinctes, que l'industrie a depuis long-temps désignées par les dénominations de *minerai de montagne*, *mine en roche*, et *minerai d'alluvion* (v. la carte, fig. 1).

Les minerais de montagne ne sont pas stratifiés, et font partie des gîtes métallifères, dont ils partagent toutes les conditions de gisement. Comme eux, ils sont liés aux roches ignées et métamorphiques et présentent le caractère spécial d'une texture cristalline. Ils sont concentrés dans les terrains de transition, et presque tous les minerais des Pyrénées, ceux des Hautes-Alpes (Dauphiné), et de la partie centrale des Vosges, appartiennent à cette catégorie, qui sera décrite avec les autres gîtes métallifères d'origine postérieure aux terrains encaissants (gîtes particuliers).

Caractères des minerais de fer stratifiés.

Les minerais en roches sont lithoïdes, et ne renferment qu'accidentellement quelques druses ou concrétions cristallines; ils sont stratifiés et contemporains des diverses formations dans lesquelles ils se trouvent en couches réglées et dont ils contiennent même les fossiles dans un grand nombre de cas. Le caractère industriel de ces minerais est d'être employés directement dans les forges sans autre préparation qu'un triage plus ou moins complet; leur caractère de position est d'être stratifiés avec les terrains sédimentaires et d'être exploités soit à ciel ouvert, sur les versants où ils affleurent, soit par puits et galeries qui traversent les terrains encaissants.

Les minerais d'alluvion sont au contraire des minerais superficiels, à peine recouverts par quelques dépôts limoneux, et le plus souvent disséminés dans des couches marneuses dont ils sont extraits par lavage. Cette position superficielle leur a fait donner le nom d'alluviens, quoiqu'une partie d'entre eux paraisse remonter à la période tertiaire, quelquefois même au delà; mais elle les caractérise d'une manière si générale que la distinction de leur âge véritable est le plus souvent sans importance. Ils ne sont généralement employés qu'après des débourbages et des lavages qui les ont isolés des matières marneuses dans lesquelles ils sont disséminés.

Ainsi les minerais stratifiés formant partie constituante des terrains sédimentaires sont ceux de la première et de la seconde classe (voy. les gîtes désignés 1, 2, fig. 1) savoir :

1° Les minerais alluviens, qui consistent en hydroxydes pisolitiques ou oolitiques, soit en rognons, en géodes, plaquettes, fragments irréguliers disséminés ordinairement dans des couches marneuses ou sableuses, et constituant des gîtes superficiels;

2° Les minerais en roche, comprenant les fers carbonatés lithoïdes, les oxydes rouges, les hydroxydes compactes, terreux, oolitiques, déposés en couches et disséminés dans la série géognostique, depuis les strates de transition jusqu'au terrain tertiaire.

Répartition des minerais de fer dans la série des terrains.

Ces minerais sont assujettis à des lois qui varient, il est vrai, d'un district à un autre, mais qui se maintiennent sur des superficies considérables. Ces lois démontrent que les influences qui les ont produits, quoique résultant le plus souvent de phénomènes locaux, isolés, clairsemés, et en quelque sorte surajoutés aux grandes actions sédimentaires, ont cependant été soumises à un certain ordre qui les a concentrés dans quelques plans de stratification. Ainsi, quelques couches du terrain de transition chargées de peroxyde de fer, éveillent d'abord l'idée de sources mi-

nérales qui ont imprégné quelques-uns des dépôts de cette époque en faisant irruption dans les eaux sédimentaires. Les principes ainsi apportés ont dû se concentrer dans des eaux tranquilles tandis que dans des eaux fortement troublées, comme celles qui ont déposé le vieux grès rouge, ils ont été disséminés dans tout l'ensemble du dépôt. Dans le terrain houiller, par exemple, le fer carbonaté lithoïde, en rognons disséminés dans les argiles, nous représente les éléments ferrugineux, probablement amenés par des sources minérales, soumis à l'influence de l'acide carbonique alors répandu avec tant de profusion, et se précipitant par l'effet de l'attraction moléculaire en nodules arrondis. La formation concentrique de ces nodules est déterminée le plus souvent par un noyau autour duquel les molécules ferrugineuses sont venues se grouper : il y avait ainsi, dans les mêmes eaux, dépôt chimique de matières tenues en dissolution, et dépôt mécanique des argiles tenues en suspension. Le dépôt chimique, loin d'exister dans toutes les couches argileuses, est concentré dans quelques-unes, et n'y existe même que sur une partie de leur étendue.

Le fer reparaît souvent dans les formations supérieures au terrain houiller; indépendamment de couches isolées et très-chargées de fer, les dépôts du nouveau grès rouge du trias contiennent dans leur ensemble une forte proportion de peroxydes de fer d'où résulte cette apparence rouge ou bariolée qui devient un de leurs caractères les plus remarquables. A partir du terrain oolitique, le fer se trouve plus souvent à l'état d'hydroxyde, et ces hydroxydes affectent même, dans la plupart des cas, une structure oolitique, pisolitique ou géodique qui reste un caractère dominant, même dans les terrains les plus modernes. La structure oolitique est d'ailleurs un fait général de l'époque jurassique que l'on a expliqué par l'étude de faits analogues dans certains dépôts de sources minérales : les eaux agitées mettent en mouvement et tiennent en suspension des molécules sableuses qui deviennent le noyau de précipitations chimiques, ces molécules sableuses se chargent de couches concentriques jusqu'à ce que, leur pesanteur étant devenue trop considérable pour

être encore tenues en suspension, elles tombent et s'agrégent à l'ensemble du dépôt. Il est probable que les fers oxydés pisolitiques et oolitiques n'ont pas d'autre origine.

La forme de géodes, de fragments cloisonnés, si fréquente dans les minerais des marnes tertiaires et alluviales, doit être attribuée à une précipitation autour des nodules ou dans des fissures d'une matière argileuse. Cette matière a subi, par le desséchement, une contraction que n'ont point partagée les dépôts ferrugineux, et de là ces vides que l'on y remarque souvent.

Ces infiltrations ferrugineuses, lorsqu'elles sont bien positivement en place, ne présentent jamais une grande étendue; ce n'est que lorsque leurs produits ont été remaniés et stratifiés par l'action des eaux qu'on les trouve couvrant de vastes superficies. La sédimentation a été dans ce cas un fait additionnel, qui ne doit pas empêcher de regarder la généralité des gîtes ferrifères comme devant leur origine à des sources locales, émanations du centre à la surface du globe, qui n'ont étendu leur sphère d'action que dans un rayon restreint, en imprégnant les roches préexistantes ou contemporaines seulement dans certaines parties de leur masse.

Cette origine assignée aux minerais de fer stratifiés fait pressentir que leur recherche dans les terrains sédimentaires ne peut avoir lieu *a priori*, comme pour la houille, mais qu'elle doit être guidée par des indices directs, tels que des affleurements ou des identités avec des gisements connus. Les dépôts alluviens font quelquefois exception à cette règle parce qu'ils contiennent, sur quelques points, des minerais assez régulièrement répartis dans une ou plusieurs couches. Mais ces minerais régulièrement disséminés, dans le département de la Haute-Saône, par exemple, proviennent de gîtes isolés et circonscrits qui ont été remaniés par les eaux alluviales; cette exception ne peut empêcher de poser en principe qu'aucun dépôt sédimentaire, considéré dans son ensemble n'est réellement exploitable, du moins dans les conditions actuelles de l'industrie, pour la proportion de fer qu'il peut contenir habituellement.

Ainsi les dépôts si fortement colorés ou bariolés par le per-

oxyde de fer, les grès rouges, les grès bigarrés, les marnes irisées, n en contiennent cependant qu'une très-faible proportion. Il a fallu pour la formation des gîtes exploitables que, par des circonstances spéciales, le fer fût concentré en quelques points et dans certains plans de stratification : tels sont les fers carbonatés lithoïdes dans les dépôts houillers, les oolites, géodes et concrétions dans les dépôts jurassiques, crétacés, tertiaires ou alluviens. Ce sont donc ces gîtes dont il faut étudier les caractères, en laissant de côté les éléments ferrugineux disséminés d'une manière générale et continue, mais insuffisante, dans toute la série des dépôts de sédiment [1]. Nous aurons occasion d'appuyer sur des exemples cette théorie de l'existence presque continue d'éléments ferrugineux dans les eaux sédimentaires, de leur gisement disséminé dans les dépôts arénacés violents, et concentré dans les dépôts qui attestent de longues périodes de tranquillité; ce principe peut devenir un guide très-utile dans les recherches.

Minerais de fer dans le terrain de transition et le terrain houiller.

Les terrains de transition contiennent très-peu de gîtes de minerais stratifiés, la plupart de ceux qui y sont exploités se rapportant à la classe des minerais de montagne. Ce n'est qu'accidentellement qu'on trouve dans ces terrains des couches d'hydroxyde ou d'oxyde rouge, et quelques autres présentant la composition du grenat ferrifère. Dans les Ardennes, on exploite trois de ces couches intercalées dans les dépôts de transition, et l'on en retrouve quelques analogues dans les départements des Côtes-du-Nord et du Morbihan.

Cette pénurie de minerais de fer stratifiés dans les contrées de transition y aurait rendu l'industrie des forges presque impossible, si ces terrains n'étaient en même temps ceux qui renferment le plus ordinairement les gîtes particuliers d'origine posté-

[1] Les grandes formations calcaires, les plus exemptes de fer en apparence, en contiennent cependant des proportions notables qui attestent cette continuité. L'existence des calcaires chlorités et des argiles pyriteuses indique la présence du fer même dans la formation crétacée.

rieure; lorsque ces gîtes manquent aussi, on n'a plus d'autre ressource que d'aller chercher les minerais dans d'autres terrains. C'est ainsi que, sur le vaste plateau de la France centrale, ont dû procéder le peu de hauts fourneaux qui se sont montés par suite de l'abondance du combustible sur un grand nombre de points. Le Creuzot est alimenté par des peroxydes oolitiques du terrain jurassique auxquels on joint même des minerais tertiaires du Berry; les hauts fourneaux du Janon font venir du minerai du lias de La Voulte, ceux des environs de Saint-Chamond emploient des minerais jurassiques de Villebois et même de la Haute-Saône pour les joindre au peu de ressources que présentent les terrains de transition environnants et les dépôts houillers dont la position a déterminé la construction des usines.

Dans le terrain houiller, le fer n'existe guère qu'à l'état de carbonate; il est ordinairement concentré dans quelques couches d'un bassin, et même sur des superficies beaucoup plus limitées que celle des couches. La forme habituelle du fer carbonaté des houillères est celle de rognons ellipsoïdes, à cassure lithoïde brune ou grisâtre; c'est un mélange plus ou moins riche d'argile et de carbonate de fer. Ces rognons sont stratifiés dans les couches d'argile, ils semblent, ainsi que nous l'avons dit plus



Fig. 14. *Disposition des nodules de fer carbonaté lithoïde dans la mine du Treuil* (Saint-Etienne).

haut, s'être rassemblés et précipités dans les périodes de repos où les eaux abandonnaient en même temps les particules argileuses

dont elles étaient chargées. Ces rognons, par suite de leur mélange avec l'argile, se délitent souvent en couches concentriques, et souvent aussi présentent à leur centre un nodule d'argile ou de pyrite, quelquefois même un débris fossile, noyaux qui paraissent avoir provoqué autour d'eux la précipitation chimique. Dans un bassin houiller, le fer carbonaté se trouve donc presque toujours dans les mêmes assises. Il y a deux de ces couches d'argile ferrifère dans le bassin de Dudley; il y en a seize dans celui du pays de Galles.

Les nombreux bassins houillers de la France sont loin de contenir le fer carbonaté avec la même abondance que ceux de l'Angleterre. Peu de couches argileuses contiennent ces rognons, et encore n'en contiennent-elles que dans des rayons circonscrits. A Saint-Étienne, par exemple, il en existe deux qui fournissent, dans la concession du Treuil, des rognons aplatis d'assez bonne qualité et contribuent à alimenter les fourneaux du Janon; mais dans les autres concessions les rognons ne se retrouvent pas dans les couches équivalentes, ou il y en a si peu qu'on a dû les négliger. Sur quelques autres points, le fer carbonaté apparaît au contraire en grande abondance, mais avec des caractères tout différents : à la mine du Cros, par exemple, il pénètre des couches entières d'argile d'un et deux mètres de puissance, donnant à cette roche une solidité et une densité remarquables. Mais ces gîtes massifs sont beaucoup plus impurs que les gîtes en nodules disséminés; outre une plus grande proportion d'argile, ils contiennent encore des pyrites, des précipitations de silice noire, et l'exploitation, qui aurait pu être développée, est restée peu productive. Des gîtes analogues ont été remarqués en plusieurs points du bassin, notamment aux environs de Saint-Chamond.

Le bassin houiller d'Aubin (Aveyron) est celui qui contient le fer carbonaté en plus grande abondance : il y existe d'abord en rognons disséminés dans les couches d'argile qui avoisinent la houille, et, comme à Saint-Étienne, c'est le minerai le plus pur. En outre, il constitue une couche un peu schisteuse d'un

à quatre mètres de puissance, qui paraît s'étendre sous la plus grande partie de la surface houillère. Cette couche est remarquable en ce qu'elle présente en plusieurs points des séries de renflements et d'étranglements qui constituent l'allure dite en chapelet, allure très-fréquente dans toutes les substances qui résultent de précipitations chimiques dans les eaux sédimentaires (c'est ainsi, par exemple, que se présentent souvent les silex exploités dans la formation crayeuse). Cette structure est d'ailleurs indépendante des autres accidents, failles et brouillages, qui affectent cette couche comme l'ensemble du terrain houiller. Les rognons et la couche sont exploités en plusieurs points du bassin et alimentent les hauts fourneaux de Decazeville.

Il est peu de bassins qui ne contiennent accidentellement des gîtes analogues de fer carbonaté, mais en si faible quantité qu'il n'y a pas d'autres exploitations que celles des deux bassins de Saint-Étienne et d'Aubin. Dans le bassin du Gard, et surtout dans la partie de l'ouest, le fer carbonaté est assez fréquent. Dans le bassin de Saône-et-Loire, il existe près de Beauchamp une couche d'argile jaunâtre avec rognons assez suivis pour qu'on ait songé à y monter un haut fourneau. Enfin, aux environs de Marquise, on a fait quelques essais d'un fer carbonaté lithoïde long-temps négligé à cause de son apparence calcaire.

En résumé, si l'on compare les gîtes de fer carbonaté à la masse des terrains houillers, on voit que leur existence, peu développée quoique fréquente, ne peut être considérée que comme un fait accidentel. Il est également à remarquer que toutes les fois qu'il y a eu formation de houille dans des terrains postérieurs au terrain houiller, les éléments ferrugineux y ont de nouveau repris la composition et l'aspect caractéristiques de cette époque. Ainsi, dans les houilles et les schistes à empreintes végétales de l'époque du lias (environs de Milhau, Yorkshire), on retrouve le fer carbonaté en rognons stratifiés; tandis que dans ces mêmes terrains, lorsque leur facies est normal, les infiltrations ferrugineuses ne se montrent qu'à l'état d'oxydes.

Ces variations de composition des minéraux ferrifères n'établissent aucune différence réelle dans l'origine qu'on peut leur attribuer; elles tendent seulement à démontrer que le fer, amené à certaines époques intermittentes et sur des points isolés, le plus souvent à l'état d'oxydes, a dû cependant subir, par les influences de l'époque carbonifère, une transformation minéralogique. La période houillère nous représente presque généralement une période de dépôts tranquilles; il est donc naturel d'y trouver les infiltrations ferrugineuses plus concentrées que dans les périodes du vieux grès rouge, dans celle du nouveau grès rouge, et même du trias, où les produits de ces infiltrations sont mélangés avec l'ensemble des dépôts. Il est en effet à remarquer que ces infiltrations n'ont pour nous de valeur que par leur concentration. Les formations précitées, si fortement colorées par le peroxyde de fer, contiennent peut-être dans leur ensemble beaucoup plus de fer que le terrain houiller; mais dans celui-ci il est rassemblé, il se présente souvent avec une concentration de 30 et 40 p. 100, et par conséquent en gîtes utiles. Dans les grès rouges ou bigarrés, on trouvera le fer partout; mais des concentrations de 10 p. 100 seront déjà des exceptions assez rares[1]: la présence du fer y serait donc à peine remarquée si la couleur tranchée de ces terrains rouges et bariolés ne contrastait avec les roches grises et noirâtres des dépôts houillers qu'ils recouvrent, et avec les couleurs blanche et verdâtre des puissantes formations calcaires et argileuses qui sont au-dessus.

Minerais de fer dans les terrains jurassique et crétacé.

C'est seulement à partir du lias que les minerais de fer deviennent assez rassemblés et assez fréquents pour y motiver des recherches. Cette formation est en effet la ressource principale de nos usines méridionales, et elle leur a présenté des gîtes, sinon constants, du moins assez fréquents pour que cette formation soit aujourd'hui étudiée avec soin, dans le but de remédier à la pénurie des terrains qui ont précédé.

Le plus bel exemple de cette richesse est la mine de La Voulte, située dans l'Ardèche, vers les bords du Rhône, à la hauteur du confluent de la Drôme. Cette mine comprend trois couches de peroxyde rouge stratifiées dans les marnes supérieures du lias, lesquelles sont inclinées en ce point de 40 à 45°. Ces couches sont exploitées sur une longueur de plus de 1000 mètres. Le peroxyde pénètre la roche calcaire du toit et du mur, et partage tous les accidents de la stratification ; on y trouve les mêmes débris organiques, les mêmes fossiles caractéristiques que dans le calcaire. La puissance des couches varie de 1 à 5 m., et ce gîte, le plus puissant, le plus riche des gîtes stratifiés, non-seulement alimente sur place quatre hauts fourneaux au coke, mais exporte ses produits le long du Rhône et jusqu'aux usines qui environnent Saint-Étienne. La production de fonte due aux exploitations de La Voulte est la trentième partie de la production indigène.

Le peroxyde de La Voulte est constamment lithoïde, d'un rouge intense, quelquefois marneux et schisteux, très-tachant et doux au toucher ; d'autres fois compacte, scintillant sous les coups de marteau, et offrant des cassures inégales et fragmentaires. On y trouve disséminés des rognons ovoïdes de fer carbonaté lithoïde d'excellente qualité, et accidentellement quelques druses cristallines de fer spathique. Ces couches, intercalées de peroxyde contenant des fossiles, tels que des ammonites, bélemnites, etc., présentent toutes les preuves d'une origine contemporaine ; ce sont bien les couches du lias lui-même revêtues d'un nouveau caractère sur une partie de leur surface. Enfin cette influence qui a éliminé les autres caractères des dépôts s'est reproduite trois fois à des intervalles distincts, de telle sorte que dans ces intervalles la sédimentation a pu se continuer comme dans les autres parties du lias. Cette influence locale ne peut être attribuée qu'à des sources minérales sortant au lieu même du gîte ; elle nous démontre que les dépôts du lias avaient lieu dans des eaux stationnaires, et assez lentement pour que des précipitations chimiques, qui ne pouvaient être elles-mêmes

que très-lentes dans leur action, aient pu stratifier leurs produits sans apporter de perturbation très-saillante dans la stratification des couches calcaires.

Il existe dans le département de l'Ardèche des gîtes de fer hydroxydé qui paraissent appartenir aux couches supérieures du lias, et donnent lieu à de petites exploitations dont les produits sont expédiés dans le département de la Loire. Les gîtes les plus importants de cette formation sont ceux du département du Gard qui alimentent les forges d'Alais. Ce sont des hydroxydes argileux, en masses cariées et cloisonnées, qui forment des bancs puissants, mais non continus, dans les couches calcaires; quelquefois ces gîtes ont la forme de fentes et de cavités remplies. Les mêmes gîtes se reproduisent dans les couches du lias qui avoisinent le bassin houiller du Vigan, et ils sont tellement fréquents dans les Cévennes que ces infiltrations locales ont évidemment été un fait très-étendu pour toute la région du sud.

Les trois formations oolitiques présentent la génération des oxydes de fer sur une échelle également remarquable. Ainsi, les contrées jurassiques de la Haute-Saône, de la Haute-Marne, de la Côte-d'Or, etc., contiennent des minerais de fer dans trois positions géognostiques correspondant aux trois étages oolitiques, et ces gisements se reproduisent dans le Doubs, dans le Jura bernois et le Porentruy. Les études de MM. Thirria et Thurman se sont accordées pour constater cette distribution de gîtes contemporains, signalés, quoique d'une manière moins complète, dans d'autres districts jurassiques.

Il existe dans l'étage oolitique inférieur une assise calcaire correspondante au forest-marble des Anglais, qui renferme un très-grand nombre de fentes, de cavités peu spacieuses remplies par du fer oxydé rouge. Les parois de ces cavités, qui ont une longueur de 2 à 8 mètres et 1 à 2 de largeur, sont lisses et ondulées comme celles des grottes et des cavités si fréquentes dans le terrain jurassique. Le minerai y semble stratifié verticalement; il y est quelquefois concrétionné et évidemment pos-

térieur aux couches calcaires dont il a rempli les cavités ; mais l'absence de gîtes semblables dans les cavités des calcaires des étages oolitiques supérieurs porte tout à fait à croire qu'il est de formation jurassique. C'est un véritable minerai en roche, un oxyde rouge tout à fait distinct sous le rapport minéralogique des argiles alluviales ocreuses qui ont rempli certaines cavernes du même terrain.

Dans l'étage oolitique moyen, les marnes qui correspondent à l'Oxford-clay contiennent une ou plusieurs couches de marne friable, pénétrée de grains oolitiques de fer hydraté. La puissance de cette couche ferrifère varie de $0^m,50$ à $1^m,80$. Les oolites y sont de la grosseur d'un grain de millet, et la marne en contient de 20 à 30 p. 100. Les nombreux fossiles qui se trouvent dans cette couche y ont amené des phosphates qui rendent la fonte fusible, très-propre au moulage, mais peu convenable pour la fabrication du fer.

Les peroxydes rouges oolitiques exploités à Villebois, à Sennecey, les mines en roche de Conflandey (Haute-Saône), les oolites rouges, quartzeuses, manganésifères de l'Aveyron, les hydroxydes oolitiques qui forment dans le département de l'Ain des couches de 0,50 à 2 mètres de puissance, appartiennent à la formation oolitique inférieure, dans laquelle paraissent concentrés la majeure partie des gîtes bien positivement contemporains. Cependant on trouve également des gîtes analogues dans les étages moyens et supérieurs : ainsi, indépendamment de ceux de la Haute-Saône, de la Côte-d'Or (Maison-Neuve), il existe dans la Moselle, notamment aux environs d'Hayange et de Moyeuvre, des hydroxydes oolitiques dans les trois étages et surtout dans l'étage inférieur et dans le supérieur.

Dans la Haute-Marne on exploite plus souvent les cavernes remplies d'argile rougeâtre pénétrée d'hydroxydes; ces minerais sont suivis jusqu'au delà de deux cents pieds à Thonance, Poissons, Montreuil, et fournissent des produits de qualité supérieure.

Ainsi, les gîtes contemporains des trois étages oolitiques consistent à la fois en couches stratifiées et peu continues d'oxydes rouges ou bruns, quelquefois à l'état d'oolites miliaires, plus rarement en couches marneuses assez étendues et peu puissantes pénétrées d'hydroxydes dans ce même état d'oolites miliaires, enfin en vides sinueux longs et étroits, remplis des mêmes oxydes avec les mêmes caractères minéralogiques. Les infiltrations ferrugineuses ont donc pris généralement à cette époque ce facies oolitique si fréquent dans les calcaires eux-mêmes; mais ces oolites sont ordinairement petites, et en cela distinctes des hydroxydes pisolitiques, qui paraissent généralement postérieurs au terrain jurassique.

On trouve dans le département de la Haute-Saône et sur le versant occidental du Jura un vaste dépôt argileux superficiel, avec fer hydraté pisiforme, que l'on a considéré successivement comme jurassique, crétacé et alluvien (voir la carte, fig. 1). Ce dépôt argileux, qui a souvent 10 mètres de puissance, couvre au moins la dixième partie du département de la Haute-Saône; la couche ferrifère a un mètre de puissance; elle est à la partie inférieure du dépôt, et contient des grains sphéroïdaux pisolitiques de fer hydroxydé. Ces grains sont formés de couches concentriques bien distinctes, accompagnés de plaquettes, de géodes, de nodules tuberculeux, également de fer hydroxydé. Ces minerais sont disséminés dans une argile ocreuse, en bancs plus ou moins étendus où l'hydroxyde est dans la proportion d'un tiers à un dixième. M. Thirria a observé que les calcaires jurassiques supérieurs contenaient souvent, à l'approche du minerai de fer, des pisolites de même nature et des impressions de pisolites; fait qui semble indiquer le dépôt des pisolites comme antérieur à la complète consolidation de ces calcaires. Les débris organiques trouvés dans le dépôt argileux sont d'ailleurs entièrement jurassiques, mais ils peuvent avoir été remaniés. Souvent le minerai pisiforme remplit aussi des fentes longues et sinueuses, et des cavités analogues à celles du forest-marble. Ces minerais contiennent des grains magnétiques, ce qui provient

d'une petite proportion de protoxyde; ils sont de bonne qualité et fournissent la majeure partie des fontes de Comté.

Des minerais consistant en pisolites, en grains, en géodes, en plaquettes et fragments irréguliers empâtés dans des couches argileuses et des sables marneux de l'époque du grès vert, se trouvent dans le Bas-Boulonnais où ils sont exploités pour les hauts fourneaux de la localité et pour ceux des environs de Valenciennes.

Le fer est souvent disséminé à l'état de sulfure dans les couches du grès vert. Entre Calais et Boulogne, les falaises rongées par les eaux de la mer abandonnent une grande quantité de rognons à surface cristalline et radiés à l'intérieur, de plaquettes mamelonnées qu'on recueillait autrefois pour fabriquer du soufre ou du sulfate de fer. Il existe même un banc de fer sulfuré, près du port Vissant, dans une argile noire mélangée de chaux phosphatée bitumineuse.

On peut remarquer dans les gîtes de la période crétacée un fait qui peut être également étendu aux autres périodes et qui n'est pas sans importance : c'est qu'en général les gîtes de minerais contemporains sont plus fréquents et plus développés à la base d'une formation ou à sa partie superficielle que dans la série même des couches, surtout lorsque les dépôts de cette formation sont à la fois homogènes et puissants. On chercherait inutilement des gîtes de minerai dans les 3 à 400 mètres si homogènes de craie blanche et de craie marneuse qui couvrent notre bassin septentrional; ce n'est que dans les couches inférieures, couches dont les roches sont diversifiées par des modifications de dureté, de densité et de couleurs, que se montrent les infiltrations minérales qui se sont adjointes aux faits de sédimentation.

Minerais tertiaires et alluviens.

Dans les terrains tertiaires, les époques du développement des minerais hydroxydés pisolitiques et géodiques correspondent aux argiles plastiques et aux couches superficielles, c'est-à-dire aux deux extrémités de la période.

Les minerais du Berry sont le terme le plus développé de cette génération de fers hydroxydés. Le bassin argileux qui recouvre le terrain jurassique dans le Berry contient, notamment dans la vallée du Cher, des couches très-chargées de pisolites dont la proportion varie d'un dixième à un tiers. Ces pisolites sont tantôt disséminées dans la masse, tantôt réunies et agglutinées par un ciment ferrugineux ou calcaire; d'autres fois ce sont des grains quarzeux, des nodules argileux réunis par un ciment d'hydroxyde assez abondant pour que la masse puisse être exploitée. Une partie des minerais superficiels du Nivernais, du Bourbonnais, du Bas-Rhin, appartiennent à l'époque tertiaire; mais il est très-difficile de les distinguer des minerais alluviens, car près de ces gîtes tertiaires se trouvent des gîtes alluviens provenant des mêmes éléments remaniés. Cette distinction présente d'ailleurs peu d'importance géognostique et elle n'en a aucune sous le rapport de l'application.

Le bassin tertiaire parisien n'est pas lui-même dépourvu de minerais. La difficulté de les traiter a pu décourager les recherches, mais il existe un projet d'ériger à Presle, près Beaumont (Seine-et-Oise), des hauts fourneaux qui seraient alimentés par les minerais superficiels des environs.

Les minerais alluviens sont de beaucoup les plus répandus et ceux qui alimentent le plus grand nombre d'usines. Ils comprennent d'abord les minerais des formations précédentes, ceux surtout du terrain jurassique transportés et remaniés par les eaux diluviennes et beaucoup de gîtes de fer hydroxydé pisiforme, géodique, etc..., qui paraissent avoir été formés sur les points qu'ils occupent par des sources minérales.

Le fer hydroxydé alluvien se distingue des minerais hydroxydés de la formation oolitique par la grosseur généralement plus considérable des grains pisiformes, leur irrégularité plus prononcée, et surtout par l'absence de stratification. Dans beaucoup de cas le minerai n'est que le ciment servant à lier des corps hétérogènes; telles sont les brèches à ossements diluviens qui sont quelquefois assez ferrugineuses pour être traitées. La généralité des

principes ferrugineux dans les brèches alluviales est d'ailleurs un fait remarquable; car non-seulement les brèches à ossements accumulées dans les cavernes présentent ce caractère, mais il a été très-souvent observé dans les alluvions aurifères et gemmifères des Indes et de l'Amérique méridionale.

Il est difficile d'assigner aucune loi de gisement aux minerais d'alluvion; leur position superficielle en rend d'ailleurs la recherche facile. Les minerais remaniés se trouvent souvent dans les mêmes contrées que les minerais intercalés, et les maîtres de forges n'établissent aucune distinction entre les minerais alluviens et les minerais jurassiques ou tertiaires superficiels. Les minerais remaniés se distinguent assez facilement en ce que les géodes, les grains, les concrétions sont brisés; on y rencontre des fossiles antérieurs à l'époque alluvienne, défigurés, roulés, mélangés de coquilles diluviennes et d'ossements de mammifères. Enfin, on les voit reposer indistinctement sur tous les terrains, à des niveaux variables, couvrant les pentes, remplissant des dépressions, des anfractuosités, sans lignes de stratification bien déterminées.

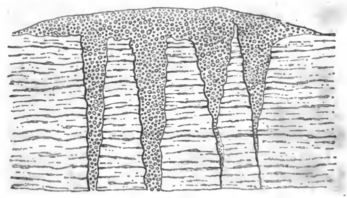


Fig. 15. *Gîtes de fer hydroxydé pisiforme dans le Jura.*

La figure ci-dessus met en évidence une forme très-fréquente dans les minerais alluviens qui sont ainsi déposés dans les anfractuosités des roches préexistantes et sans relations dé-

terminées avec les dépôts alluviens ordinaires. D'autres fois, au contraire, le minerai, disséminé dans des couches marneuses ou sableuses, forme des couches régulières qui semblent partie intégrante du terrain alluvien quoiqu'elles n'aient pas sa continuité. Lorsque ces couches se trouvent tout à fait à la base des dépôts alluviens, comme dans la mine d'Auggen, décrite par M. Valchner, il peut y avoir quelque incertitude sur l'âge du minerai, et c'est en examinant les conditions du gisement qu'on pourra le déterminer; la liaison ordinaire de ces minerais avec les dépôts alluviens devient un guide pour cette détermination et pour les recherches qui peuvent en résulter. C'est ainsi que dans la vallée du Rhin (fig. 16) on recherche les minerais par des sondages qui doivent traverser à la fois la marne diluviale dite loss ou lehm [1], les sables et cailloux roulés [2], les sables molasses [3], le conglomérat calcaire [4], et une couche d'argile sableuse [5] qui recouvre le plan de stratification des minerais [6] qui sont au-dessus du terrain jurassique [7].

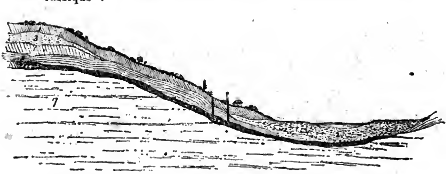


Fig. 16. *Couche de fer hydroxydé alluvien dans la vallée du Rhin près d'Auggen.*

Les districts où les minerais alluviens se montrent sur la plus vaste échelle de développement et où ils ont donné naissance au plus grand nombre d'usines, sont (voir la carte, fig. 1) : 1° celui qui est compris, vers la frontière, entre la Sambre et la Moselle, où les minerais alimentent les fourneaux des Ardennes, de la Meuse et de la Moselle. Ce sont des hydroxydes en grains arrondis, en rognons, en géodes et en plaquettes, disséminés dans

les sables qui recouvrent le terrain jurassique; les gîtes de Saint-Pancré et d'Aumetz fournissent des fers de qualité supérieure. 2° La plupart des gîtes du Bas-Rhin qui consistent en argiles et sables alluviens contenant des fers carbonatés en décomposition et les minerais tertiaires remaniés. 3° Une partie des minerais superficiels du Jura, disséminés sur les plateaux, sur les pentes et dans les cavernes du calcaire. L'origine alluviale de ces gîtes est démontrée par la présence des débris organiques qui caractérisent cette époque; les minerais, souvent accumulés dans les cavernes, ont comme elles la forme de longs boyaux sinueux, ayant en moyenne 10 à 12 mètres carrés de section transversale et présentant, dans le sens de la stratification, des séries de renflements et d'étranglements; ils sont souvent mis en rapport avec la surface du sol par des cheminées ou colonnes verticales de minerai ayant 6 à 8 mètres de section, orifices qui ont probablement servi à les remplir. 4° Les minerais oolitiques tertiaires disséminés dans les marnes superficielles des environs de Châtillon-sur-Seine, et quelques gîtes à pisolites et géodes du Nivernais sont alluviens. 5° A cette époque appartiennent encore tous les hydroxydes en fragments, en masses compactes fibreuses, mamelonnées, disséminés dans les argiles superficielles de la Charente, de la Dordogne, de Lot-et-Garonne, du Lot et de Tarn-et-Garonne, représentant le groupe des minerais du Périgord. Ces minerais alimentent exclusivement toutes les forges du pays; les exploitations sont le plus souvent à ciel ouvert et descendent jusqu'à 20 mètres de profondeur; les minerais obtenus sont assez riches et d'assez bonne qualité pour être traités par la méthode catalane. 6° Les sables alluviens des Landes contiennent de petits gîtes très-nombreux d'hydroxydes en grains libres ou agglutinés par un ciment de même nature; ces grains forment ainsi, par leur réunion, des rognons, des plaques mamelonnées, disséminées dans les sables. On a remarqué qu'au milieu des agglomérations de ces hydroxydes tout à fait superficiels, on trouvait très-fréquemment des débris végétaux qui paraissent avoir été le centre des précipitations. Des minerais analogues et

cloisonnés pénètrent les parties argileuses des landes. Enfin, au-dessous de cette formation sableuse si récente, se trouve la couche argileuse qui retient les eaux dans les landes et qui est pénétrée elle-même en beaucoup de points d'hydroxyde en plaquettes, géodes, etc. Tous ces minerais sont exploités et alimentent un assez grand nombre de hauts fourneaux.

On voit en résumé que l'époque alluviale fut marquée en France par la génération d'une grande quantité d'hydroxydes. Sans doute bon nombre de gîtes, surtout dans les régions du Jura, du Bas-Rhin, de la Côte-d'Or, doivent leur existence au remaniement de gîtes préexistants ; mais cependant la majeure partie doit être attribuée à l'action de sources contemporaines, et telle est certainement l'origine des gîtes si multipliés du Périgord, des Landes, etc. Le tiers environ des hauts fourneaux de France est alimenté par les minerais alluviens.

Recherche et exploitation des minerais de fer.

De cette description des gîtes ferrifères stratifiés avec les terrains de sédiment, on peut conclure que pendant toute la durée des temps géologiques, des sources minérales ferrifères ont eu à la surface une action continue, quoique intermittente et tout à fait comparable, sous ce rapport, aux émissions intermittentes de roches ignées, qui forment pourtant aussi une série continue. L'existence de ces gîtes, ainsi attribuée à une émanation de l'intérieur à la surface dont les eaux auraient été le véhicule, se trouve liée d'ailleurs, sous le rapport de l'origine, aux grandes révolutions de la surface du globe ; il était naturel d'en trouver la production plus active, après les révolutions de la surface, vers les lignes de séparation de terrains et formations plutôt que dans la masse régulière des dépôts : c'est en effet ce qui a lieu.

Un second caractère consiste en ce que ces dépôts ferrifères affectent un développement, non pas général comme celui des terrains sédimentaires, mais par districts et sur des points clairsemés comme celui des roches éruptives. Les lois de leur gise-

ment ne peuvent donc de même être que locales, et pour saisir les règles qui peuvent faciliter les recherches, il faut se borner à observer des districts circonscrits (comme ceux indiqués sur la carte), et les considérer comme différents entre eux, même dans le cas de conformité d'âge, par les caractères minéralogiques et les détails du gisement.

En concentrant ainsi les observations sur les développements locaux, on ne tardera pas à constater entre les divers gîtes des conformités de position et de formes qui pourront guider les recherches d'une manière presque certaine. On reconnaîtra, par exemple, que certains plateaux groupés dans des directions déterminées, analogues par la forme de leurs découpures, de leurs pentes, par leurs rapports avec les vallées, présentent le minerai dans des positions identiques.

Les minerais alluviens sont ordinairement recherchés par sondages, et d'après des indices éloignés, c'est-à-dire dans les positions que la pratique du pays a fait reconnaître pour les meilleures. Une marne qui contient 10 à 15 p. 100 de fer hydroxydé en grains est exploitable et le minerai, facilement obtenu par le débourbage et le lavage, est de qualité d'autant plus belle qu'il est plus dense. Une forte densité est ordinairement indiquée par la couleur foncée des grains. Ces mines en grains sont presque toutes un peu manganésifères et à gangue argileuse; et, à l'exception de celles qui sont disséminées dans des bancs très-coquilliers (et qui peuvent contenir des phosphates), elles sont très-pures et très-recherchées pour la fabrication du fer. Leur teneur varie de 40 à 60 p. 100.

Les mines en roches n'offrent pas la même qualité; leur teneur est généralement au-dessous de 35 p. 100, et les gangues, plus souvent siliceuses que calcaires, en rendent le fondage coûteux. Aussi ces minerais sont le plus souvent réservés pour les fourneaux au coke, et, à l'exception du beau gîte de La Voulte, ils ne donnent pas lieu à des transports éloignés. La recherche des mines en roches ne peut avoir lieu, ainsi qu'il a été dit plus haut, que d'après des indices directs.

Le nombre total des minières et mines de fer en France, y compris les minerais de montagne, est évalué à 2,356, savoir :

Minières exploitées	1844	Mines exploitées	153
— non exploitées	265	— non exploitées	93

La surface totale des concessions s'élève à 97,229 hectares. 11,000 mineurs travaillent dans ces exploitations et ont produit en 1840 :

	Quintaux métriques.
Minières	20,114,834
Mines	2,371,465
Total	22,486,299

Ces minerais sont livrés au lavage et au triage, opération qui occupe 4,400 ouvriers, répartis dans environ 300 laveries mécaniques et 1,200 laveries à bras. Le produit est d'environ dix millions de quintaux métriques de minerai préparé, répartis comme il suit :

686 hauts-fourneaux	9,752,646
121 foyers catalans et corses	838,308

dont la valeur totale est estimée à environ treize millions.

Ces minerais ainsi traités dans 544 hauts fourneaux au bois, 42 hauts fourneaux au coke et 121 foyers catalans ou corses, produisent 3,203,000 quintaux métriques de fonte brute et environ 25,000 quintaux métriques de fer malléable obtenus par le traitement direct. La valeur créée par ces produits directs subit des accroissements successifs par les autres opérations métallurgiques, et ces accroissements sont estimés ainsi que l'indique le tableau suivant, rédigé par l'administration des mines pour l'année 1840 :

Minerais	13,375,613
Valeur créée par la fonte	44,288,375
— par le gros fer	39,015,152
— par les fers assortis	27,706,754
— par l'acier	5,944,850
Valeur totale	130,330,744

15,000 ouvriers, aidés par 2,859 machines hydrauliques ou à vapeur représentant une force totale de 22,000 chevaux, sont appliqués à ces travaux métallurgiques.

Dans plusieurs circonstances, des couches sédimentaires, surtout dans le terrain alluvien, contiennent des principes métallifères autres que des minerais de fer disséminés dans leur masse. Mais ces gîtes exceptionnels doivent leur origine à la destruction par les eaux de gîtes particuliers. Les éléments métallifères ont en effet résisté, soit par leur dureté, soit par leur malléabilité, à l'action érosive qui a pu détruire, dans beaucoup de cas, les gangues qui les accompagnaient; ils ont été par conséquent isolés de leurs gangues et se retrouvent disséminés dans des dépôts de sédiment. Cette position particulière de quelques gîtes ne peut être décrite avec quelque utilité qu'après les gîtes particuliers dont ils proviennent. Nous nous bornerons donc à signaler ici l'existence de ces dépôts métallifères, surtout dans les terrains alluviens, et à mentionner leur origine subordonnée à celle des gîtes métallifères proprement dits. On prévoit que, comme position géographique, ces gîtes de destruction doivent nécessairement se trouver dans les contrés où existent les gîtes en place qui ont été les points de départ, mais à des niveaux inférieurs.

CHAPITRE CINQUIÈME.

GÎTES PARTICULIERS.

FILONS, AMAS ET STOCWERKS.

Les métaux ne se trouvent qu'exceptionnellement à l'état natif (sauf l'or et le platine); la nature nous les présente engagés dans des combinaisons plus ou moins compliquées dont l'art métallurgique doit les extraire. Ces combinaisons ne se trouvent elles-mêmes que bien rarement, sous un volume un peu considérable, à l'état de pureté; elles sont mélangées d'autres substances, de telle sorte que la dénomination de *minerais* est appliquée à des minéraux complexes dans lesquels une combinaison métallique est en quantité suffisante pour être extraite par les procédés métallurgiques; en d'autres termes : un minerai est un composé métallifère susceptible d'exploitation.

Il entre ainsi dans cette définition une considération industrielle relative à l'emploi des métaux et à leur prix commercial. Une roche contenant $\frac{1}{10}$ de fer ne sera pas un minerai de fer; tandis qu'on pourra donner le nom de minerai d'argent à des masses minérales qui ne contiennent que $\frac{1}{100}$ d'argent, et celui de minerai d'or à des masses dont la teneur est généralement au-dessous de $\frac{1}{1000}$. Pour les principaux métaux, les limites inférieures des minerais, c'est-à-dire celles au-dessous desquelles on ne tente plus l'abattage des roches métallifères, peuvent être actuellement établies ainsi qu'il suit en supposant que ces roches soit consistantes : le fer $\frac{1}{3}$, le plomb $\frac{1}{30}$, le zinc $\frac{1}{20}$, le cuivre $\frac{1}{50}$, l'argent $\frac{1}{1000}$, l'or $\frac{1}{100000}$. Les procédés actuels d'exploitation et de métallurgie ne permettent guère l'extraction au-dessous de ces teneurs.

On appelle *gangues* les substances qui accompagnent les com-

binaisons métalliques. Les gangues varient souvent de composition et de caractères, suivant les métaux qu'elles accompagnent. Tantôt elles sont tout à fait distinctes et faciles à séparer des parties métallifères ; tantôt leur mélange est si intime qu'on fond le tout ensemble ; d'autres fois enfin, les deux cas se présentent dans le même gîte. On considère souvent les gangues dont on ne peut se débarrasser par un simple cassage et triage comme faisant partie des minerais. Quant à la dénomination de roches métallifères, elle est beaucoup plus étendue et s'applique ordinairement au terrain qui contient à la fois les gangues et les minerais. C'est ainsi que certains porphyres ont été appelés porphyres métallifères parce qu'ils accompagnaient souvent les gîtes de minerais.

Les différences les plus prononcées distinguent les gîtes particuliers des gîtes généraux. Sous le rapport de la forme, ceux-ci sont toujours en couches ou en amas couchés qui doivent être regardés comme contemporains des terrains encaissants ; les gîtes particuliers affectent au contraire des formes spéciales indépendantes de la stratification ; formes qui leur assignent une origine postérieure aux terrains dans lesquels ils se trouvent enclavés. Sous le rapport minéralogique, beaucoup de substances nouvelles entrent dans la composition des gîtes particuliers, et celles qui sont communes aux deux classes présentent des caractères spéciaux qui peuvent les faire distinguer dans ces deux positions.

Gîtes réguliers et gîtes irréguliers.

Les gîtes particuliers se rapportent à deux types de formes : les *filons* ou gîtes réguliers ; les *amas* et *stockwerks* ou gîtes irréguliers.

Les filons sont des masses minérales aplaties, comprises sous deux plans à peu près parallèles, et coupant la stratification des terrains dans lesquels elles se trouvent. On peut se les représenter comme des cassures ou fentes plus ou moins considérables faites dans l'écorce du globe, et postérieurement remplies par

diverses substances minérales parmi lesquelles se trouvent souvent les minerais. La masse d'un filon est donc une plaque à parois plus ou moins ondulées, de la dimension de la fente préexistante, et dont la position n'a aucun rapport avec la stratification du sol, de même que sa composition est généralement tout à fait distincte.

La dénomination d'amas n'entraîne aucune forme déterminée, non plus que celle de stocwerk, qui s'applique aux amas dans lesquels le minerai est plutôt disséminé dans les fissures des roches que rassemblé en masse dont on puisse figurer les contours.

Ces définitions sont d'autant plus vagues qu'il existe des transitions fréquentes entre les gîtes en filons et ceux en amas; et l'on ne saurait se rendre compte des formes, de leurs variations, de leurs accidents si l'on n'a d'abord été fixé sur le mode de formation des gîtes. Nous avons dit que les filons devaient être considérés comme des fentes produites dans la croûte solide du globe; ces fentes ont été remplies postérieurement par des gangues provenant à la fois des influences extérieures et intérieures, c'est-à-dire par des matières venues de haut en bas et de bas en haut; et ces gangues se sont, dans beaucoup de cas, pénétrées de combinaisons métallifères, qui toutes paraissent devoir être attribuées à des émanations dirigées du centre à la circonférence.

L'origine des amas et des stocwerks doit être considérée comme se confondant avec celle des filons sous le rapport du mode de remplissage; mais, sous le rapport des phénomènes qui ont déterminé la forme des gîtes, il existe des distinctions essentielles. Les amas paraissent en effet liés d'une manière bien plus immédiate aux grandes perturbations géogéniques qui, à des intervalles différents, ont accidenté la surface du globe; comme gisement, leur connexion avec celui des roches ignées est bien plus intime; souvent même la sortie directe des amas métallifères paraît avoir été, comme celle des roches ignées elles-mêmes, le résultat direct d'une action expansive agissant énergiquement de bas en haut, soulevant et brisant les dépôts sédimentaires superposés.

Nous énonçons ainsi à l'avance le mode de formation des filons

et des amas métallifères afin de faciliter l'appréciation des phénomènes multipliés qu'ils présentent. Le principe de cette origine n'est plus en effet un problème à résoudre, et ce premier énoncé du théorème aura l'avantage de nous dispenser de faire continuellement ressortir les conclusions qui résultent des moindres détails descriptifs. Nous en trouverons successivement les preuves : 1° dans la composition et la structure des gîtes métallifères ; 2° dans leurs formes ou allures ; 3° enfin dans les relations qui existent soit entre eux, soit avec les terrains encaissants.

Indiquons de suite quelques termes techniques employés dans les mines pour désigner les diverses parties des gîtes. On appelle *toit* (hangende) le plan droit ou ondulé qui forme la limite supérieure d'un gîte ; le plan inférieur est le *mur* (liegende). Souvent le toit et le mur sont séparés du gîte par des roches détachées et d'une autre nature que la masse : ces parties sont les *salbandes* (saalbander). On appelle *epontes* les portions de roches encaissantes qui forment le toit ou le mur. Les points où le gîte perce à la surface du sol sont les *affleurements*. La ligne d'intersection d'un plan horizontal avec le plan d'un filon en détermine la *direction ;* l'*inclinaison* est l'angle que forme le plan de direction avec l'horizon.

Composition des filons métallifères.

Les filons constituent la plus grande partie des gîtes métallifères autres que ceux du fer. C'est en vertu de cette importance et parce que leurs formes sont assujetties à des lois de continuité et de régularité plus faciles à saisir, qu'ils ont été de tous temps l'objet d'études particulières. Werner, placé dans une des contrées les plus riches en filons, et en filons plus variés et plus réguliers que partout ailleurs, a fourni par ses travaux la base de la géognosie des métaux. Les conclusions qu'il a tirées lui-même de ses observations ont il est vrai subi des modifications absolues, mais ses observations ont subsisté parce qu'elles portaient le cachet du travail et du génie, et ont ouvert la voie à une théorie plus

rationnelle aussitôt que les progrès de la géognosie purent y conduire.

L'étude des caractères des filons a une très-grande importance; il suffira, pour la faire apprécier, de rappeler ce qui a été dit dans l'introduction sur l'ignorance où furent les premiers exploitants des conditions de continuité, de direction et d'inclinaison des filons. Ainsi l'on ne croyait alors à l'existence du minerai que lorsqu'on le voyait; de là ces puits multipliés, souvent placés au hasard, ces travaux sinueux et incertains. Si, au contraire, nous parvenons, en étudiant les filons, à démontrer l'origine que nous leur avons assignée et les conditions qui en résultent, les travaux changent de forme; on peut calculer à l'avance à quelle profondeur, à quelle distance on rencontrera un filon par un puits ou une galerie pratiqués dans le terrain qui le renferme. C'est en étudiant les caractères de composition, de structure et de forme des gîtes particuliers, leurs relations entre eux et avec le sol encaissant, qu'on peut fixer ses idées et arriver à cette conviction qui doit seule donner naissance aux grands travaux.

Le caractère le plus saillant d'un filon, celui qui le fait distinguer dans un terrain quelconque, c'est sa composition. En effet, les minéraux qui entrent dans la composition des filons métallifères n'ont en général aucune relation avec les roches encaissantes, sauf les cas fréquents où ils contiennent des débris de ces roches de toute dimension et de toute forme, tels qu'ils paraissent provenir d'écroulements des epontes pendant le remplissage du filon.

La masse des filons est dans la plupart des cas formée par les gangues qui sont : 1° la silice, soit sous la forme de quarz en tout ou partie cristallin, ordinairement translucide, et quelquefois en partie hyalin; soit sous forme de jaspes et d'agates diversement nuancés, contenant comme dans le cas précédent des poches ou fours à cristaux; 2° la chaux carbonatée, toujours cristalline ou spathique, qu'elle soit pure ou mélangée, et passant souvent à la dolomie cristalline, au spath calcaire ferrugineux, au fer spathique, au spath rose manganésifère; 3° le spath-fluor, soit pur et cristallin avec ses nuances multipliées, blanches, vertes, jaunes,

roses, rouges, bleues, violacées, et ses belles cristallisations cubiques; soit mélangé avec le quarz ou le spath calcaire; 4° la baryte sulfatée blanche, laminaire ou cristallisée, avec ses formes de prismes, de tables biselées, de crêtes striées; 5° l'argile impure, quelquefois schisteuse, *letten* des Allemands, à laquelle il est difficile d'assigner une origine autre que la décomposition.

A ces gangues il faut ajouter les oxydes de fer, qui jouent souvent le rôle de gangues relativement aux autres métaux, l'yénite et la plupart des silicates magnésiens qui entrent dans la composition des roches ignées, tels que le talc, la serpentine, et surtout l'amphibole; enfin les roches du toit et du mur en fragments empâtés qui donnent souvent à l'ensemble de la masse un aspect bréchiforme. Plus rarement on trouve de véritables débris étrangers aux terrains encaissants ayant forme de blocs ou de galets roulés, et qui dans les environs de Hartz, par exemple, ayant été enveloppés par le minerai, lui ont fait donner le nom de *ringertz* (minerai en anneau), parce que telle est la forme sous laquelle il se présente par la section de ces galets.

Ces diverses gangues remplissent donc les filons métallifères, concurremment avec les minerais qui s'y trouvent disséminés soit en veines ou petits filons isolés; soit en veinules, paillettes, grains ou rognons cristallins et cristaux disséminés. Il est rare qu'un filon rempli par ces gangues ne soit pas métallifère du moins en partie. Les filons tout à fait *stériles* ne sont remplis, dans la plupart des cas, que de poudingues, de brèches composées de roches analogues aux roches encaissantes, ou de grès et d'argile. Cependant, il faut distinguer, dans le cas des filons d'argile, ceux qui sont appelés filons *terreux* ou *pourris*, lesquels sont quelquefois très-riches en minerais, et qui le plus souvent se distinguent des filons stériles en ce que la matière argileuse qui les remplit est le résultat de la décomposition sur place des roches qui remplissaient les filons. Aussi arrive-t-il fréquemment que ces filons ne sont terreux que dans certaines parties, et qu'en les suivant sur une assez grande longueur dans le sens de la direction et surtout de l'inclinaison, on ar-

rive à trouver des parties moins décomposées ou même tout à fait saines.

Toutes les matières qui remplissent les filons, gangues et minerais sont à l'état cristallin; les roches provenant de l'écroulement des parois ou tombées évidemment de l'extérieur font seules exception à cette règle qui constitue un caractère spécial des gîtes particuliers. C'est l'exploitation de ces gîtes qui fournit en grande partie les cristaux isolés ou groupés qui ont servi à l'étude de la minéralogie. Les belles cristallisations de quarz, spath-fluor, baryte sulfatée, spath calcaire et dolomitique, jointes aux groupes cristallisés de galène, blende, antimoine sulfuré, cuivre gris, pyrite, cuivre carbonaté, etc., qu'on voit dans les collections minéralogiques, donnent cependant une fausse idée de cet état cristallin des filons. Tous ces morceaux de choix appartiennent aux géodes ou cavités dans lesquelles la cristallisation a pu se développer d'une manière complète; mais dans les minéraux qui remplissent la masse du filon, l'état cristallin est seulement indiqué par une texture fibreuse ou clivable; les cristaux déterminables sont des cas exceptionnels. Cette texture, jointe à la nature particulière des substances, suffit d'ailleurs pour signaler l'existence d'un gîte particulier; l'existence de ce gîte sera d'autant plus facile à constater que les roches du terrain encaissant seront plus lithoïdes. Pour reconnaître ensuite si le gîte est un filon ou un amas, il faut en consulter les caractères de forme et de structure.

Forme et structure des filons.

La forme est le second caractère distinctif des filons. Nous l'avons définie une plaque minérale à parois parallèles coupant la stratification des terrains. A la surface, un filon se manifeste donc par une série d'affleurements disposés suivant une direction constante; et si l'on vient à excaver le sol, on ne tarde pas à reconnaître que le toit et le mur s'enfoncent suivant une inclinaison déterminée. La direction et l'inclinaison une fois constatées, on

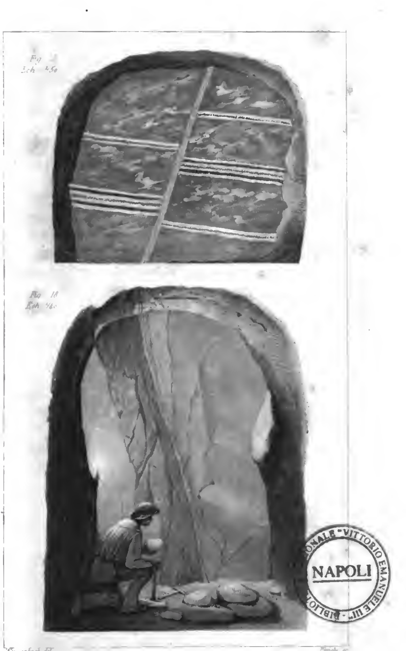


Fig. 17. Vue de la chambre d'accrochage du puits Ober... près ...
Fig. 18. Vue de l'extrémité d'une galerie suivant le filon de Gottlober Morgengange près Freiberg.

connaît le plan du filon, et l'expérience ayant démontré la continuité de ce plan sur des espaces considérables en moyenne, il est facile de déterminer où peut se rencontrer le filon en un point du district qu'il traverse.

Si donc on vient à atteindre par des travaux souterrains le plan d'un filon, il se manifestera par un changement de composition, limité par les lignes du toit et du mur. Ainsi la planche ci-jointe exprime par deux exemples la forme d'un filon : dans la fig. 18, le toit et le mur détachent nettement le plan du filon de Gottloberg-Morgengange près Freyberg ; on peut de suite mesurer sa puissance, qui est de 0,45; son inclinaison, qui est de 90°, et prendre sa direction dans la galerie. Lorsque les filons s'enchevêtrent dans les roches du toit et du mur, comme celui du filon Peter (fig. 17), ces appréciations ne peuvent s'obtenir que par des lignes moyennes, les galeries ayant atteint quelque développement. La régularité de l'allure d'un filon est, en effet, souvent dérangée, non-seulement par les ondulations du toit et du mur, mais par des bifurcations, des rameaux qui partent du plan principal, et s'en écartent plus ou moins. Les figures 19, 20, 23 et 24, prises par le professeur Weissenbach dans diverses exploitations de Freyberg, expriment différentes apparences de ces irrégularités.

La structure des filons est intimement liée à leur forme, et par suite assujettie à des lois aussi intéressantes pour leur théorie que pour leur exploitation. Lorsque la composition n'éprouve pas de perturbations par le mélange des roches du toit et du mur, et que les gangues sont de plusieurs espèces, ces gangues ne sont pas mélangées confusément. Elles affectent une disposition parallèle aux salbandes, et sont symétriques relativement au toit et au mur ; c'est-à-dire que si, à partir du toit, l'on découvre une bande de spath calcaire, puis une de spath fluor, puis une de quarz, puis une autre de sulfate de baryte avec galène, on trouvera à partir du mur le spath calcaire, le spath fluor, le quarz et le sulfate de baryte galénifère, disposés dans un ordre identique et même avec des épaisseurs proportionnelles

dans les deux parties. Un filon sera donc composé de plaques successives, identiques deux à deux, et disposées symétriquement à partir du toit et du mur ; et comme les ondulations du toit et du mur ne se correspondent pas dans la plupart des cas, les deux dernières épaisseurs de gangues ne pouvant se réunir sans qu'il y ait altération de cette loi de symétrie, le plus souvent il arrive qu'une nouvelle espèce minérale, soit stérile, soit métallique, rempli ces vides intermédiaires; d'autrefois il y reste des espaces vides et c'est dans ces espaces que se rencontrent ces *druses*, ces *fours* ou *poches* à cristaux, qui forment encore un caractère distinctif de la structure des filons.

La structure symétrique se manifeste fréquemment par l'existence de salbandes interposées entre le toit et le mur. Ces salbandes ordinairement argileuses, isolent le filon et facilitent beaucoup son exploitation ; les filons ainsi détachés étant évidemment d'un abattage beaucoup plus facile que les filons adhérents au toit et au mur. Du reste, la disposition de la masse du filon par strates doubles et symétriques n'est pas générale et absolue : le mélange de roches provenant du toit et du mur et de galets tombés de la surface a été un obstacle à ce qu'elle pût se développer et nous avons dit que ce mélange était fréquent. D'autre part, il arrive aussi que les filons sont de composition trop simple pour qu'il y ait des distinctions à faire, et par suite pour que la symétrie soit visible. Mais toutes les fois que le remplissage du filon a été tout à fait tranquille et sans mélange hétérogène, toutes les fois qu'il y a variations dans les gangues, la loi de symétrie reparaît avec une constance et souvent avec une perfection remarquables.

Cette loi est applicable, non-seulement aux variations de composition des gangues, mais à leurs variations de couleur et de structure. Elle est applicable à la présence de telle substance métallifère disséminée dans une même gangue, de telle sorte que, par exemple, la coupe d'un filon peut présenter, à partir du toit et du mur, le quarz jaspe coloré, le quarz blanc cristallin, le quarz galénifère, la blende, en tout sept ou huit épaisseurs, symétriques et semblables deux à deux. On a signalé

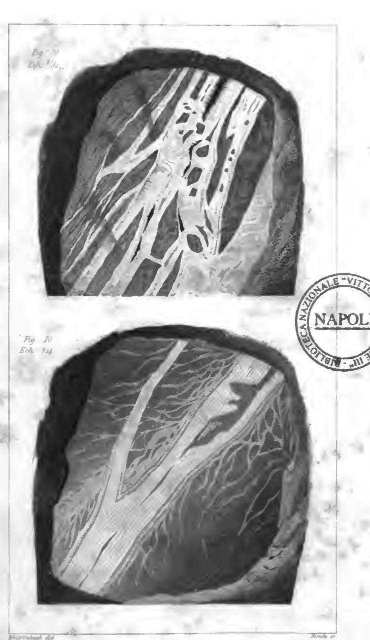


Fig. 19 Vue de la face verticale d'un gradin renversé, a l'extrémité de la 1.ère galerie suivant le filon Peter près de la mine Hoffnung Gottes (district de Freyberg)
Fig. 20 Vue de la face verticale d'un gradin renversé a l'extrémité de la 3.e galerie suivant le filon Neuhoffnunger flachen (district de Freyberg)

des filons où il y avait ainsi sept variations de composition, de structure ou de couleur, à partir d'une salbande jusqu'au centre, c'est-à-dire quatorze en tout. M. Daubuisson citait un des filons de Freyberg composé de couches successives de baryte sulfatée et de spath fluor disposées avec une symétrie tellement exacte de part et d'autre, qu'on n'aurait pu mieux faire, disait-il, avec le compas.

Ainsi cette loi de structure symétrique peut être considérée, non pas comme une nécessité dans les filons, mais comme une circonstance de leur génération, circonstance inhérente à leur origine et qui tendait constamment à se produire lorsque rien ne s'y opposait.

Les figures 19 et 20 expriment très-bien les deux cas de la structure symétrique des filons. Dans le filon Neuhoffnunger-Flachengange, cette structure est marquée par des salbandes régulières et des lignes qui les suivent même dans les ramifications. Dans le filon Peter, elle est à la fois troublée par des masses du toit et du mur et par des enchevêtrements, mais elle se reconnaît encore en prenant pour axes les lignes noires qui représentent les vides ou druses cristallines du centre.

La structure symétrique des filons est d'ailleurs la conséquence de la nature cristalline des gangues et combinaisons métallifères qui les remplissent; non-seulement elle est perturbée toutes les fois qu'il y a remplissage par des matériaux tombés des parois ou de la surface, mais elle n'existe jamais pour les filons remplis mécaniquement par des argiles, grès, brèches ou conglomérats.

Les minéraux cristallins échappent en effet aux lois qui régissent la sédimentation. Si l'on étudie, par exemple, les dispositions que prennent des cristaux quelconques lorsque, dans une fabrication, on fait cristalliser des substances, soit par voie humide, soit par voie sèche, on reconnaît que ces cristaux se fixent sur les parois verticales ou inclinées des cristallisoirs ou des cheminées de sublimation et s'accroissent suivant des plans parallèles à ces parois. Il en est de même pour les filons et, soit que les matières cristallines qui les remplissent aient été produites

par sublimation ou par dépôt, il est naturel de les trouver disposés, à partir du toit et du mur, suivant leur époque de formation.

Il est d'ailleurs évident qu'il ne faut pas donner à ces lois de structure une extension absolue. Les diverses parties d'un même filon ont pu être soumises à des influences différentes qui en ont fait varier la composition; les ondulations des parois, la différence de leur position relativement aux éléments de remplissage, constituent encore des éléments nombreux d'irrégularité. Mais ces variations ne portent aucune atteinte aux règles de la structure, pas plus que les perturbations provoquées par les agents de remplissage mécanique; l'observation des plus petits détails vient à l'appui de cette hypothèse du remplissage normal par des plans d'accroissement à partir des salbandes. Ainsi M. Daubuisson écrivait en 1819. « Lorsque les matières ont montré une grande tendance à se former en cristaux, soit parfaits, soit imparfaits (quarz hyalin, quarz améthysé, spath calcaire, etc.), on remarque que la pointe des cristaux de forme pyramidale est toujours tournée vers l'intérieur du filon, le cristal étant à peu près perpendiculaire aux salbandes. Chaque couche prend en conséquence, sur celle de ses faces tournée du côté de la salbande, l'empreinte des cristaux de la couche adjacente, tandis que les cristaux qu'elle porte sur l'autre face semblent enfoncer leurs pointes dans la couche subséquente. Enfin, les cristaux des deux couches du milieu se présentant leurs sommets, s'engrènent les uns dans les autres et finissent par remplir le filon. »

Distribution des minerais dans les filons métallifères.

La répartition des minerais, considérée relativement à l'ensemble des filons, n'est jamais régulière, soit qu'on l'étudie suivant le plan de direction et d'inclinaison, soit qu'on la compare dans diverses sections faites perpendiculairement à ce plan et sur des points éloignés.

Les variations de la puissance des filons paraissent avoir eu une grande influence sur leur richesse; ainsi les points où les

filons se renflent, se bifurquent en plusieurs branches dont la puissance totale dépasse la moyenne, sont presque constamment ceux qui sont les plus avantageux, non-seulement en raison de la plus grande masse du minerai, mais en raison de l'élévation de son titre. Le filon de Veta-Grande près Zacatecas, au Mexique, fournit un exemple frappant de cette concentration fréquente des minerais les plus riches sur les points de la puissance maximum. Ce filon est exploité sur 2760 mètres de longueur, et sur une profondeur de 3 à 400 mètres, par 21 mines; l'exploitation a été surtout fructueuse dans les mines de Gallega et de Cerro-di-Milanese, où le filon atteint une puissance de 8 à 12 mètres, soit par un simple renflement, soit par une bifurcation en quatre branches; elle a été arrêtée en direction comme en profondeur par des rétrécissements soutenus qui réduisaient la puissance à m. 0,90 à m. 1,20, dimensions auxquelles il cessait de donner des bénéfices par l'affaiblissement du minerai en teneur et en quantité.

Dans des conditions d'égale puissance, les variations de richesse sont fréquentes à la fois suivant l'inclinaison et suivant la direction; ainsi les filons de plomb argentifère de Poullaouen et d'Huelgoat ont présenté, suivant leur direction, des lacunes stériles qu'il fallait traverser pour retrouver des zones riches. Le célèbre filon de la Veta-Madre, exploité sur une longueur de 12,000 mètres en direction, n'a présenté une richesse remarquable que sur environ 2,600 mètres. Dans beaucoup de cas on a observé des changements de minerais : ainsi la pyrite cuivreuse était remplacée par de la blende et de la galène, de telle sorte que le filon semblait composé de zones accolées de composition différente. Ces transformations suivant la direction sont un effet direct du mode de génération des filons; quant aux transformations dans le sens de l'inclinaison elles semblent résulter quelquefois de causes différentes.

Dans un grand nombre de filons on a remarqué une différence complète entre les caractères minéralogiques des parties supérieures et ceux des parties situées à une profondeur considérable. Ainsi les filons de Sainte-Marie-aux-Mines furent célèbres lors

de l'exploitation des parties situées au-dessus des vallées principales; on y trouvait de l'argent natif en masses souvent considérables; le minerai était également plus argentifère et plus facile à abattre qu'il ne l'a été ensuite lorsque les travaux devinrent plus profonds. Les variations de ce genre furent d'abord attribuées à la faculté condensatrice que devaient posséder au plus haut degré les parties supérieures d'une cassure comparativement aux parties profondes; les émanations métallifères devaient s'y fixer de préférence de même que dans les portions renflées ou bifurquées, parce que la vitesse de leur courant était ralentie et la température diminuée; mais dans la plupart des cas les variations de richesse suivant l'inclinaison paraissent résulter d'un autre ordre de faits. Ainsi, dans la plupart des filons des Amériques, les minerais d'argent sont disséminés vers les parties voisines des affleurements dans des terres ocreuses, peu résistantes, présentant tous les caractères des filons décomposés, dits filons pourris; les minerais y sont à l'état natif, à l'état de chlorure et de sulfure. Ces minerais, avantageux à exploiter malgré leur faible teneur, parce qu'ils sont faciles à abattre, ont reçu les noms de *colorados* au Mexique, et de *pacos* au Pérou; le minerai y est à peine perceptible à l'œil, mais facile à recueillir par l'amalgamation. En profondeur, on ne trouve plus dans bon nombre de ces mines que des pyrites de fer disséminées dans des gangues dures et noirâtres; ces minerais (*los negros*), à la fois plus coûteux à abattre et à traiter, ne sont que rarement suivis avec bénéfice.

Il est bien évident que les parties supérieures de ces filons, primitivement identiques aux parties inférieures, ont été altérées par les actions complexes qui résultent de leur voisinage de l'atmosphère; actions parmi lesquelles on doit surtout placer les courants électriques dont la présence a été constatée par de nombreuses expériences dans les mines du Cornwall. De là ces décompositions des gangues et des minerais, ces transports moléculaires qui ont isolé les métaux natifs et qui n'ont souvent laissé dans les gangues quarzeuses que les empreintes des cristaux qui avaient été primitivement formés. C'est à ces phéno-

mènes qu'on doit attribuer, dans les filons cuivreux la présence de l'oxyde noir de cuivre, oxyde qui semble incompatible avec l'origine ignée des filons, puisqu'il ne peut éprouver une température un peu élevée sans passer à l'état de protoxyde. Dans les filons de galène argentifère, le minerai est souvent remplacé par des carbonates de plomb, les gangues sont cariées, caverneuses, et présentent encore les empreintes cubiques des cristaux de galène; elles sont même imprégnées de chaux sulfatée, résultat évident de ces transformations.

Si l'on étudie la répartition des minerais suivant les sections transversales des filons, on voit que le minerai y est disposé en veines, en veinules, en petits amas, en rognons, en grains, en paillettes et en cristaux; ces diverses formes sont d'ailleurs subordonnées à la génération par bandes doubles et symétriques, pour les filons où cette disposition est visible. Ainsi, tantôt le minerai formera des veines continues suivant le plan du filon, soit presque pur ou isolé par des salbandes particulières et distinctes, tantôt il sera disséminé dans les gangues. Les cristaux se trouvent surtout dans les parties cariées et caverneuses de la roche; ils appartiennent presque toujours aux mêmes formes cristallines, qui souvent sont particulières à un filon, de telle sorte que dans les collections on peut immédiatement reconnaître la provenance de beaucoup d'échantillons. Quelquefois dans les filons à gangue simple et uniforme, la présence du minerai établit des distinctions, soit qu'il existe seulement vers les salbandes, soit qu'il se trouve rassemblé dans l'axe du filon et forme ainsi un filon dans un autre.

Dans les nombreux filons en partie remplis par les débris du toit et du mur ou par des roches étrangères, le minerai forme le plus souvent la pâte, le ciment de ces parties hétérogènes, ainsi que nous l'avons signalé pour quelques filons du Harz. Les grands filons, tels que ceux de La Croix-aux-Mines, Huelgoat, etc., sont ordinairement dans cette catégorie.

Dans un grand nombre de cas, les roches encaissantes semblent avoir exercé sur la composition des filons une influence notable.

Ces influences paraissent d'ailleurs se rattacher à deux ordres de faits différents : les premiers purement mécaniques, les seconds chimiques.

Dans le premier cas se trouvent les exemples classiques des filons de galène du Derbyshire, traversant à la fois les calcaires métallifères et les roches trappéennes qui se sont intercalées entre les couches de ce calcaire de manière à présenter des alternances répétées . les filons larges et riches dans le calcaire sont rétrécis, pauvres et souvent étranglés dans les trapps. A Andreasberg, des filons traversent des alternances de schiste micacé et de quartz compacte; ils sont plus riches et plus puissants dans les schistes que dans les quartz. Dans ces divers exemp'es, qu'on pourrait multiplier, il n'y a évidemment d'autre fait que la dimension relative de la cassure dans les diverses roches traversées; l'augmentation de richesse ou sa diminution ne sont que la conséquence du renflement ou de l'étranglement. Or, cette diminution relative des cassures dans certaines roches s'explique très-bien par la différence d'élasticité des couches fracturées. Le fait n'en conserve pas moins tout son intérêt; car, dans une contrée de composition très-variable, les travaux de recherches et d'exploitation devront être nécessairement guidés par son appréciation qui pourra faire découvrir *a priori* les parties où les filons ont plus de chance d'être riches et puissants.

Mais il est des variations qui semblent attester réellement une influence directe de la roche encaissante sur la richesse du filon. Par exemple, à Kongsberg, en Norwége, des filons minces à gangue de spath calcaire courent dans un terrain de gneiss et de schiste micacé amphibolique; quelques-unes des couches schisteuses sont pénétrées de cuivre pyriteux, pyrite, galène et blende, elles sont appelées falband. C'est seulement en traversant ces falband que les filons contiennent l'argent natif et sulfuré, cristallisé ou filiforme, et disposé dans le sens des strates du filon; ces minerais d'argent sont aussi accompagnés de pyrites et de cuivre pyriteux, et cette loi de groupement a été constatée jusqu'à 565 mètres de profondeur.

Certains filons de Saxe et de Bohême, traversant des couches de schistes et des masses de porphyres, s'enrichissent dans ces dernières roches, tandis qu'ils deviennent stériles dans le schiste, sans qu'il y ait pourtant variation de puissance. D'ordinaire on observe certaines circonstances, telles que l'adhérence du filon à la roche qui l'enrichit, la facilité de cette roche à se pénétrer elle-même des substances métalliques, qui porteraient à croire qu'il y a eu une affinité réelle entre elle et les émanations métallifères.

Allures et relations des filons métallifères.

Rien de plus variable que les dimensions des filons métallifères. Le filon argentifère de la Veta-Madre près Guanaxuato, au Mexique, est le plus puissant des filons exploités. Sa puissance varie de 30 à 45 mètres; il a été suivi sur une longueur de plus de 12000 mètres, et les travaux dépassent 400 mètres de profondeur. D'autres fois les filons ont à peine quelques décimètres : tels sont les filons stannifères du Limousin, qui varient entre m. 0,01 et m. 0,03. S'il est permis d'indiquer une moyenne dans des circonstances aussi variables, on peut dire que la puissance la plus ordinaire des filons est comprise entre 1 et 2 mètres et qu'ils peuvent être suivis sur une longueur de 500 à 1000 mètres.

Parmi les filons célèbres par leur puissance, on peut citer le filon de La Croix, près de Sainte-Marie-aux-Mines, dans les Vosges; sa puissance est de 20 à 25 mètres, et dans certains renflements elle atteint celle de la Veta-Madre. Mais le minerai est loin d'y être en rapport avec la puissance, et les exploitations, ouvertes de temps immémorial, ont été abandonnées par suite des frais nécessités par l'épuisement des eaux. Ce filon peut être suivi sur une longueur de 8000 mètres.

A Freyberg, une exploitation de quatre siècles a ouvert un filon sur une longueur de 3600 mètres et une profondeur de 580; le plus puissant de ce riche district a 2 mètres de puissance moyenne et environ 6000 mètres d'affleurement.

Le filon le plus considérable du district de Schemnitz, en Hongrie, atteint jusqu'à 40 mètres de puissance. Le Mordlauer-Gange, en Franconie, est regardé comme le filon le plus puissant de l'Allemagne; son épaisseur est comprise entre 10 et 12 mètres, et il est exploité sur une longueur de 18000 mètres.

La forme ou *allure* plus ou moins régulière d'un filon dépend tout à fait des circonstances dans lesquelles la fracture a été formée et des terrains dans lesquels elle se trouve. L'examen des divers cas qui ont pu se présenter dans la formation de ces fractures donne en effet le détail de tous les accidents qui altèrent la forme régulière des filons.

Lorsque les filons ont été formés par une faille, c'est-à-dire par le soulèvement ou l'affaissement d'une portion du sol fracturé, de telle sorte que sur chacun des côtés de l'écartement, les strates du terrain ne se correspondent plus et n'ont plus le même niveau, la fente ainsi formée sera probablement étendue et régulière. L'allure de ces *filons-failles* est moins accidentée par des bifurcations et ramifications que dans les autres cas parce que, les faces du toit et du mur ayant perdu leur position relative, la fracture a dû nécessairement être nette et continue. Il est même certains filons de cette classe dans lesquels on a cru remarquer des traces de frottement des deux parois l'une contre l'autre. Il est naturel de penser que cet effet a pu se produire par suite de l'inégalité même de ces parois dans la dénivellation qui eut lieu. Les saillies, qui accidentent une des faces, n'ayant aucune chance de se trouver vis-à-vis d'irrégularités en sens inverse, comme cela aurait lieu si les faces, tout en s'écartant, avaient conservé leur position relative, les filons-failles sont plus sujets que d'autres aux étranglements et aux renflements.

Les filons qui résultent de fractures sans dénivellation ne présentent pas la même continuité que les filons-failles, parce qu'ils sont liés moins directement avec les grands accidents de la surface du sol. Leur allure est aussi moins régulière. En effet, l'écartement ainsi produit par cassure, disjonction ou arrachement, a pu se répartir en un grand nombre de fentes de petites dimen-

sions et parallèles entre elles, ou en quelques fentes inégales; les plus petites paraissant être les ramifications du filon principal. Il est donc arrivé que, l'écartement s'étant réparti d'une manière égale entre plusieurs fentes voisines et parallèles, il y a eu formation simultanée de filons accolés qui, suivant l'expression du mineur, *marchent* ensemble ou *se traînent*, et finissent ordinairement par se rejoindre et se confondre.

Il n'est pas d'accidents que l'on puisse prévoir dans les fentes ainsi formées, dont on ne trouve des exemples rares il est vrai, mais démontrant bien la connexion intime qui existe entre les filons et les hypothèses faites sur leur mode de formation. L'allure d'un filon dépend donc en grande partie de la nature du sol fracturé.

Ainsi, lorsque la masse fendue est compacte et homogène, il n'existe aucune origine d'irrégularité, et les fractures ont dû être régulières dans leur puissance et leur allure. Toutefois cette régularité peut être altérée par les fissures préexistantes ou par la diversité des terrains traversés; ainsi, dans un terrain très-fissuré, le plan de fracture, au lieu d'avoir une direction et une inclinaison constantes, peut être ondulé et cette direction doit être prise, non sur un espace circonscrit, mais sur une longueur considérable, et comme moyenne des directions partielles (fig. 21). Les parois

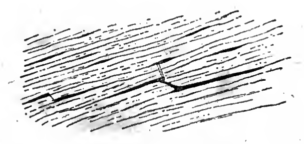
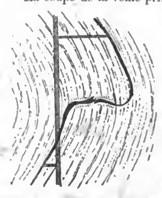


Fig. 21. *Plan des filons de pyrite de Saint Bel.*

sont, dans ce cas, irrégulières, des écroulements intérieurs déterminent des variations dans la puissance; enfin il aura pu se pro-

duire quelquefois des bifurcations, des ramifications telles que. l'écartement total se trouvant réparti en une multitude de fissures, il en résulte un stockwerk ayant la forme d'un filon. Le plan des filons de pyrites exploités à Saint-Bel (Rhône), plan relevé par M. Hennezel, est un bon exemple de l'écartement disséminé du terrain (fig. 21). Les divers filons suivent, ainsi qu'on le voit, la direction générale des schistes, et la moyenne de ces directions coupe en réalité la stratification du terrain.

La coupe de la veine principale du même gîte (fig. 22) fournit un autre exemple d'irrégularité. Les filons de Saint-Bel ont le plus souvent suivi les lignes de stratification des schistes, mais quelquefois ils passent d'un plan à un autre en coupant ces lignes et affectant ainsi le double caractère de filons-couches et de filons-fentes.


Fig. 22. *Coupe verticale du filon principal de Saint-Bel.*

Lorsque les filons traversent des terrains hétérogènes, la puissance et la direction peuvent varier en passant d'un terrain à un autre. Ainsi il est arrivé que, la limite de l'élasticité des roches n'étant pas la même, certaines couches ont glissé avant de se rompre; dès lors la puissance du filon varie, et se trouve plus grande, par exemple, dans le schiste argileux que dans le granite et le gneiss. Cette différence est quelquefois considérable, et tel filon qui, dans les terrains massifs, a un mètre de puissance, en aura deux dans le schiste argileux, un et demi dans la grauwacke. Les filons qui, dans certains districts de l'Angleterre, traversent à la fois les terrains anciens et les calcaires métallifères présentent de nombreux exemples de ces variations.

Dans quelques contrées, des fentes ont été produites par le bombement du sol; de telle sorte que les terrains préexistants, forcés de recouvrir un espace plus considérable, se sont

Fig. 23
Ech. 1/24

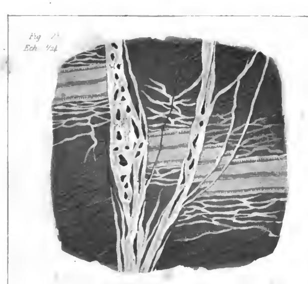
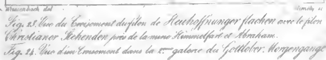


Fig. 24
Ech. 1/40





Weissenbach del. — Simély sc.

Fig. 23. Vue du Croisement du filon de Neuhoffnunger flachen avec le filon Christianer Stehenden près de la mine Himmelfart et Abraham.
Fig. 24. Vue d'un Croisement dans la 1.re galerie du Gottlober: Morgengange

fracturés lorsque la limite de leur élasticité a été dépassée. Les fentes ainsi produites sont plus larges à leur partie supérieure que dans toute autre, et leur coupe présente la forme d'un coin; d'où leur est venu le nom de *filons cunéiformes*. Il est probable qu'une assez grande quantité des filons, qui ne sont pas des filons-failles, ont une origine analogue; mais cette forme ne peut devenir appréciable qu'en descendant à de grandes profondeurs.

Un fait essentiel à mentionner, c'est que, s'il est beaucoup de cas où des filons se sont appauvris ou ont diminué de puissance en profondeur, il n'en est pas un seul où l'on ait pu constater une limite inférieure. Ainsi donc, malgré les irrégularités des filons, toutes les fois qu'on aura constaté la direction et l'inclinaison de l'un d'eux, un travail fait pour aller le recouper en profondeur sera toujours certain, et ne sera exposé qu'aux chances ordinaires des variations de puissance ou de richesse, sans que la suppression en profondeur soit jamais à craindre.

Il arrive très-rarement qu'un filon soit seul et même qu'il n'y en ait que d'une seule et même composition dans un district.

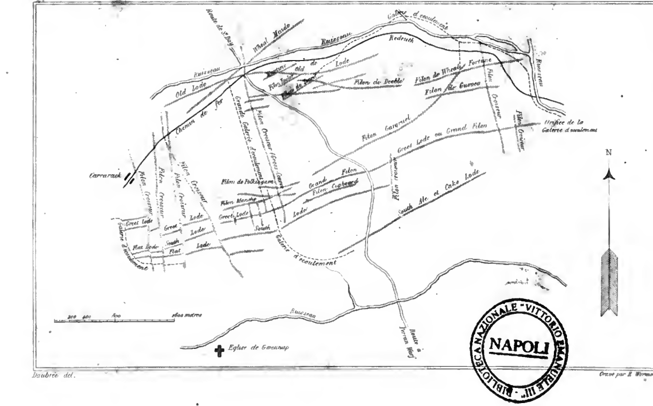
Lorsque l'on considère les filons d'un district métallifère, on reconnaît qu'ils se lient entre eux par certaines relations qui permettent de les classer géognostiquement. Ces relations, résultant à la fois de la direction et de la composition, furent d'abord observées en Saxe et dans le Harz, où Werner reconnut que les filons de même composition étaient parallèles entre eux, et que les filons de composition différente couraient généralement dans des directions différentes. Ainsi, à Ehrenfriedersdorff, des filons argentifères, dirigés N.-S., coupent des filons d'étain dirigés E.-O.; chacun de ces systèmes de composition comprend une série de filons dont les directions et les inclinaisons sont parallèles.

Lorsque deux filons se coupent, il est facile de reconnaître celui dont la formation est la plus ancienne, puisque ce filon, étant rempli lorsque l'autre fut produit, doit nécessairement présenter une solution de continuité qui n'existe pas dans le second.

Le filon le plus récent est le *filon croiseur*. Les figures 23 et 24 représentent deux cas de croisements qui expriment avec exactitude les détails de ces phénomènes et les modifications que peuvent subir les filons dans leurs allures. Ainsi dans le premier cas, fig. 23, le filon Neuhoffnunger-Flachen, déjà représenté fig. 20, est coupé par le Christianer-Stehendengange, dont chaque ramification occasionne une dénivellation différente du filon croisé. Dans le second cas, fig. 24, le Gottlober-Morgengange, déjà représenté fig. 18, est divisé en trois fractures, et chacune de ces divisions rejette aussi le filon croisé. Des rejets de même nature sont indiqués dans la galerie de Zinnwald, fig. 17.

Lors donc qu'il y a faille, comme dans ces divers cas, les deux parties du filon croisé ne se font plus suite; on retrouvera facilement le filon croisé si le rejet n'a pas plus que l'épaisseur du filon, autrement on traversera le filon croiseur sans trouver la suite du filon exploité. Il sera donc d'un grand intérêt de savoir de quel côté on devra rechercher la partie rejetée, et à ce sujet l'étude générale des filons ne fournit que des probabilités, mais l'étude locale du terrain fournira presque toujours des certitudes. L'observation a fait reconnaître que dans le plus grand nombre des cas la partie rejetée d'un filon se trouvait du côté de l'angle obtus formé par l'intersection des plans. L'étude du terrain encaissant peut fournir en outre des données plus positives, non-seulement sur le côté du rejet, mais aussi sur son importance. En effet, si le terrain est hétérogène, il sera facile de constater la faille dans le terrain et de mesurer la différence de niveau des parties correspondantes de chaque côté; dans un terrain homogène on peut souvent saisir quelque ligne de repère marquée par une variation de composition ou de texture, et d'après cette ligne de repère reconnaître le sens et l'importance de la faille.

Les intersections de filons, les rejets, les changements d'allure qui en résultent, sont d'ailleurs les phénomènes les plus compliqués de l'histoire des filons; dans les questions qui se présentent, l'expérience du mineur local est d'un grand secours,


Fig. 25.
DISPOSITION GÉNÉRALE
des principaux filons de Cuivre et des Filons croiseurs (Cross courses) des Mines dites Consolidated et United Mines (Cornouailles)
Ruisseau
Old Lode
Chemin de fer
Wheal Maide
Redruth
Galerie d'écoulement
Lode
Filon de Wheal Fortune
Filon de Gueoca
Filon Croiseur
Filon Garaquel
Greet Lode ou Grand Filon
Orifice de la Galerie d'écoulement
Filon de Polkingam
Filon Manche
Grand Filon
Filon Cupboard
South Ale et Cake Lode
Carrarack
Greet Lode
Flat Lode
South
Flat
Galerie d'écoulement
Filon Croiseur (Cross Course)
Grande Galerie d'écoulement
Route de Truan Wharf
Eglise de Gwennap
N
Daubrée del.

parce qu'une multitude de détails qui échappent à la théorie peuvent fournir des indices précieux. L'exploration de l'ensemble d'une contrée contribue également à éclaircir ces problèmes intéressants. Ainsi dans le Cornwall on a reconnu neuf systèmes de filons : deux systèmes de filons d'étain, un de porphyre, trois de cuivre, un de quarz et deux d'argile, dont l'ordre géognostique et les directions ont été constatés.

La figure 25 représente le plan superficiel des principaux filons du Cornwall, et donne idée de ces croisements de divers systèmes de filons parallèles entre eux. On voit que les filons métallifères courant à peu près E.-O. sont coupés et rejetés par des filons croiseurs courant N.-S. Dans la mine d'Huel-Peawer (fig. 26), on voit en outre que les filons d'étain sont coupés et rejetés par les filons de cuivre ; et que ces deux systèmes sont encore coupés et rejetés par les filons argileux croiseurs (cross-courses), qui sont les plus modernes.

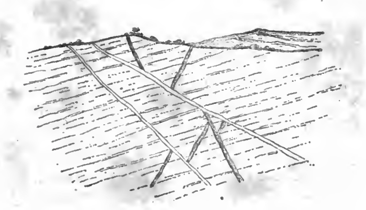


Fig. 26. *Coupe des filons de la mine d'Huel-Peawer en Cornwall.*

En résumé, les faits qui ressortent de l'examen des districts de filons sont : que généralement les filons formés à une même époque ont une composition identique et sont parallèles ; c'est-à-

dire que, le sol ayant été d'abord fracturé dans une direction déterminée, ces fentes ont été remplies; qu'il s'en est formé d'autres dans une nouvelle direction qui ont été remplies par d'autres substances, lesquelles ont été suivies de nouvelles fentes appartenant à un autre système, et ainsi de suite. Ces phénomènes ont été signalés par Werner, qui posait ainsi la première base de la théorie des révolutions du globe de M. Élie de Beaumont, théorie qui a mis en évidence le principe de parallélisme des grands accidents du globe terrestre.

Les filons, ainsi liés entre eux par des relations de direction, doivent naturellement présenter des rapports du même ordre avec les grands accidents du sol dont ils ne sont en quelque sorte que les détails. MM. Élie de Beaumont et Fournet ont fait ressortir dans plus d'un cas ces rapports, qui ne sont nulle part plus saillants que dans les Iles-Britanniques. La chaîne Pennine, par exemple, présente le parallélisme des crêtes montagneuses, des failles, des dykes et des filons sur une étendue considérable. Les Vosges, les chaînes de l'Auvergne. les districts métallifères des Alpes, de la Saxe, de la Bohême, etc., confirment ces relations de parallélisme entre les plissements, les rides de la surface du globe, et les divers systèmes de cassures qui en furent le résultat et la suite. D'ailleurs ces cassures ne sont pas astreintes à un parallélisme constant avec les directions des grandes oscillations de la croûte du globe qui ont déterminé les lignes de soulèvements et les dépôts sédimentaires; par cela même que les filons ne sont que des faits de détail, leurs directions sont plus multipliées. Mais il suffit de pouvoir établir les rapports de leur allure avec la configuration extérieure du sol et surtout avec la nature des terrains traversés pour pouvoir déduire de ces principes une multitude de faits qui sont de la plus grande utilité pratique.

Amas et stocwerks.

Les gîtes en *amas* ou *stocwerks* sont assez rarement isolés; le plus souvent ils sont groupés, rassemblés dans un même ter-

rain, de telle sorte que la constitution de ce terrain encaissant, considérée à la fois sous le rapport de la composition et de la forme, est évidemment la condition principale de l'existence et du développement des minerais. Ces gîtes ne sont donc pas, comme les filons. indépendants du terrain encaissant.

Les terrains qui renferment des gîtes métallifères de cette classe satisfont à une condition dont la généralité est un fait important : c'est le voisinage de roches ignées et un état métamorphique très-prononcé des roches stratifiées. Sans doute cette condition est trop vague pour fournir des indices directs dans la recherche des mines ; mais cependant elle élimine d'abord de cette recherche les trois quarts des surfaces terrestres, et, si l'on pousse les investigations plus loin, elle restreint encore bien plus le nombre des surfaces qui peuvent être métallifères. En effet, l'observation démontre non-seulement que les minerais ne peuvent se trouver que dans les contrées montagneuses où les roches stratifiées sont accidentées et altérées par des roches ignées ; mais elle nous apprend encore que les roches de la période porphyrique sont réellement les seules qui aient eu cette propriété de fécondation, et que dans une contrée géologique déterminée, dans tel groupe ou telle chaîne de montagnes, il n'y a qu'une ou deux des roches de cette période auxquelles on puisse l'attribuer. Enfin, comme ces roches ignées elles-mêmes sont sorties et se sont groupées suivant certaines lignes géologiques, les recherches doivent être encore concentrées à peu de distance de ces lignes.

La position ordinaire des gîtes métallifères irréguliers, dans les terrains métamorphiques et vers les plans de contact avec les roches soulevantes, a été signalée depuis long-temps dans presque tous les pays de mines. C'est par suite de ces observations que la dénomination de roche métallifère a été appliquée à des roches ignées, complétement stériles en métaux par elles-mêmes, mais dont le voisinage est très-souvent un indice de l'existence des minerais. Les porphyres feldspathiques ou amphiboliques et les roches serpentineuses ou diallagiques sont à peu près les seules de la période porphyrique qui se montrent dans cet état de con-

nexion avec les minerais. Tels sont les porphyres métallifères de l'Amérique méridionale, porphyres feldspathiques et quarzifères que M. de Humboldt a appelés métallifères parce qu'ils sont en relation constante avec les minerais disséminés suivant l'axe des Cordillères et suivant les plans des couches relevées des terrains de sédiment; tels sont les porphyres amphiboliques de la Suède et de la Norwége dans une constante intimité avec les gîtes de fer oxydulé, de cobalt arsenical, de pyrites, etc.; tels sont les porphyres de la Hongrie et de tant d'autres localités qui présentent de grandes analogies avec ceux des Cordillères.

Les roches magnésiennes semblent avoir eu des propriétés encore plus constamment métallifères que les roches alumineuses. Ainsi les serpentines du Val-d'Aoste, à la fois ferrifères et manganésifères, paraissent quelquefois contenir dans leur propre masse les amas de minerais, tant il y a eu liaison entre les phénomènes d'éruption qui ont amené ces roches à la surface et les phénomènes d'émanation qui ont intercalé près d'elles les gîtes métallifères. Les serpentines, les stéatites et les amphiboles de la Toscane sont dans les mêmes relations d'intimité avec les gîtes de fer oxydé, de cuivre pyriteux, de galène et de blende qui imprègnent une grande partie des roches ignées et des roches métamorphiques.

Cette disposition fréquente des minerais, suivant les plans de contact de certaines roches ignées du terrain porphyrique et des roches sédimentaires, paraît donc être un fait général, en donnant toutefois cette dénomination de *plans de contact* à une certaine épaisseur des roches sédimentaires comprenant celles où les phénomènes de relèvement et de métamorphisme ont été très-prononcés. Les roches ignées, par le fait de leur sortie, semblent avoir ouvert le passage aux émanations métallifères qui ont suivi ce mouvement du centre vers la circonférence, imprégnant les roches soulevées dans leurs cassures, dans leurs plans de stratification, s'y condensant et s'y accumulant en amas, d'autres fois pénétrant dans les fentes des roches à structure fragmentaire ou feuilletée et y produisant des stoewerks.

Les gîtes que l'on a souvent désignés sous le nom de *filons-couches*, pour indiquer soit leur concordance apparente avec la stratification du terrain, soit leur intercalation entre les deux natures de roche et par conséquent une concordance réelle avec les formes des masses ignées dont ils suivent les contours, appartiennent presque tous à cette classe des gîtes irréguliers. Ils n'ont en effet ni l'allure déterminée ni la continuité des véritables filons, vers lesquels ils forment cependant une transition réelle. Comme les filons, ils présentent une direction et une inclinaison déterminée; mais les irrégularités constantes du toit et du mur qui n'ont aucun parallélisme réel, la nature des gangues, enfin leur structure intérieure très-rarement symétrique, les assimilent plutôt au gisement en amas.

Les amas, les stocwerks, les filons-couches se présentent donc comme les résultats plus directs et plus concentrés du principe générateur des filons. Si, d'une part, les combinaisons métalliques sont plus riches, plus puissantes, dans cette classe de gîtes, d'autre part leur étendue en direction et en inclinaison est souvent assez limitée pour qu'il en existe des exemples plus nombreux de gîtes épuisés par l'extraction. Ces gîtes exigent enfin, par suite des irrégularités de leur allure, une étude plus soutenue et plus approfondie des variations d'allure et de composition, pour arriver à une exploitation complète et bien aménagée.

Les amas de minerais de fer sont les plus puissants qu'on puisse citer. Celui de fer oxydé de Traverselle en Piémont a été reconnu sur environ 500 mètres de direction et 400 mètres de puissance; les amas de fer oxydulé et de fer oligiste de l'île d'Elbe ont une puissance au moins égale; en Suède, des amas analogues atteignent jusqu'à 1000 mètres de direction. De pareils gîtes peuvent être considérés comme inépuisables, mais sur d'autres points il en est tout autrement. A Chessy, un stocwerk placé au contact de granites porphyroïdes avec les argiles et les grès du lias, contenant des sulfures, des carbonates et des oxydes de cuivre, a été en quelques années assez appauvri pour qu'il soit devenu impossible de continuer les travaux; les stocwerks d'étain

d'Altenberg, de Geyer, de Zinnwald, malgré une puissance considérable, ne peuvent être que très-limités dans leur production par suite de l'irrégularité de la distribution des minerais. Les amas cuprifères de Falhun en Dalécarlie, les filons-couches de Toscane, beaucoup d'autres encore ont donné des signes d'appauvrissement. Il importe donc que nous recherchions, dans quelques exemples, les conditions d'allure et de composition que l'on peut supposer aux amas, ou, en d'autres termes, que nous tâchions d'apprécier dans leurs détails les faits qui ont présidé à leur origine, afin d'en tirer des conséquences pratiques pour l'exploitation.

Théorie de la formation des gîtes métallifères.

Nous avons déjà énoncé, en traitant des gîtes réguliers en filons, et des gîtes irréguliers en amas et stocwerks, l'origine probable des substances métallifères cristallines. Mais cet énoncé a besoin d'une démonstration raisonnée qui puisse fixer les idées avec plus de précision, et inspirer à l'exploitant la confiance nécessaire pour l'entreprise des travaux qui ont pour but la recherche et l'exploitation des gîtes en profondeur.

Les substances métallifères, comme toute espèce de roche constituant l'écorce du globe, doivent se rapporter nécessairement à un des deux principes générateurs, l'un agissant du centre à la surface, et produisant les roches cristallines; l'autre résultant de l'action superficielle des eaux, et produisant des roches compactes ou terreuses. Si l'on cherche *a priori* auquel de ces deux principes peuvent être rapportés les minerais et les gangues cristallines, on est d'abord conduit, par les analogies minéralogiques, à attribuer les substances des filons au principe igné. La texture ordinairement cristalline des minerais, la structure symétrique des filons est contraire à toute idée d'action sédimentaire; d'autre part, on ne trouve dans les terrains stratifiés aucune substance métallique, le fer excepté; encore avons-nous vu qu'il devait être attribué à des causes locales, et provenait réellement d'influences qui se sont manifestées du centre à la circonférence. Dans les

terrains ignés au contraire, il n'est pas rare de trouver des minerais disséminés ou rassemblés, évidemment contemporains, et faisant partie intégrante des éruptions : le fer titané dans les basaltes, l'or et le platine dans certains porphyres, les substances cuprifères et le fer oxydulé dans des serpentines, sont des preuves d'une grande analogie du gisement des minerais avec celui des roches ignées. Les volcans brûlants eux-mêmes viennent encore à l'appui de cette opinion ; ils produisent presque tous des sublimations de fer oligiste ; le cuivre muriaté, l'arsenic sulfuré furent à certaines époques très-abondants dans le cratère du Vésuve.

Si l'on cherche à coordonner cette analogie avec les formes présentées par les gîtes métallifères, on trouve encore des concordances remarquables qui confirment ces premières données. En effet, l'hypothèse de fentes préexistantes est démontrée par le seul examen des filons : ainsi, outre qu'on les voit parcourir les terrains de composition et d'âge différents avec les détails de division conformes à cette hypothèse, séparant nettement les roches dures et compactes, se bifurquant dans les roches schisteuses, se changeant en une multitude de fissures dans les roches fendillées ; outre que ces brusques solutions de continuité ne sauraient admettre aucune autre explication dans les terrains stratifiés, on a vu que, dans le cas où divers filons viennent à se croiser, l'étude des lignes de stratification des terrains encaissants et des relations des filons entre eux conduisait précisément à cette hypothèse de fentes et de failles produites à des époques différentes.

L'origine de ces fentes et failles ne peut être attribuée qu'aux effets dynamiques de l'action expansive intérieure. Cette supposition est confirmée jusqu'à l'évidence par les relations qui existent entre les filons et les accidents du sol déterminés par cette action dynamique. Depuis les temps historiques, les tremblements de terre du Nouveau-Monde ont produit de ces crevasses longitudinales que l'on peut suivre pendant plusieurs milles et dont la largeur va jusqu'à 3 et 4 mètres. Ces failles, souvent remplies par des débris, sont quelquefois très-profondes, et ont donné lieu à la construction des premiers ponts suspendus

en cordes et lianes · ce sont de véritables fentes à filons. Il y a donc eu, dans la plupart des cas, tout à la fois formation d'une fente et établissement d'une communication entre cette fente et l'action intérieure du globe.

Werner regardait les fentes comme postérieures au dépôt des roches, et causées, soit par le retrait de la masse en se desséchant et se consolidant, soit par les soulèvements et les affaissements du sol. Il pensait en outre que ces fentes avaient été remplies, de haut en bas, par des dissolutions, dont la nature a varié, qui déposaient sur les parois de ces fentes les principes métalliques, tandis que les causes mécaniques extérieures contribuaient aussi à les remplir. Il expliquait la différence des matières constituantes par ceci : que, les eaux étant beaucoup plus tranquilles dans ces fentes profondes qu'à la surface, les dépôts des filons devaient être purs et cristallins, et différents de ceux de la surface. Ces idées, adoptées par l'école de Freyberg, furent longtemps admises, parce que ce qu'elles laissaient de vague et d'inexpliqué n'était pas choquant tant que des incertitudes encore plus grandes existèrent sur le mode de formation des terrains. Mais lorsque l'étude des phénomènes actuels, lorsque la chimie et la minéralogie, appelées à l'aide du géologue, permirent d'apprécier avec plus de certitude la composition de l'écorce du globe et son mode de formation, on reconnut qu'une partie des hypothèses de Werner étaient inconciliables avec les faits géognostiques. Comment supposer, en effet, que les eaux aient pu se charger de principes métalliques qui n'existaient pas à la surface? si ces principes existaient, comment admettre qu'ils se soient uniquement déposés dans les filons, tandis qu'on n'en voit aucune trace dans les couches calcaires, quartzeuses ou argileuses qui se déposaient à la même époque et dans les mêmes contrées? M. Daubuisson, élève de Werner, et l'un des fondateurs de la science géognostique en France, fut le premier à signaler ces anomalies et à manifester ses doutes. « Lorsque je vois, disait-il, dans une contrée de 100 lieues d'étendue, composée uniquement de grès et de grauwackes, des filons de galène et de quartz bien

cristallins; lorsque dans des montagnes d'une étendue aussi grande, et composées de gneiss, je trouve une multitude de filons d'argent et de spath sans qu'il y ait le moindre indice de ces substances dans la masse des montagnes, il m'est bien difficile de concevoir que ces filons soient le produit d'une dissolution qui, couvrant toute la contrée, pénétrait dans les fentes et y déposait les matières dont elle était chargée. N'aurait-elle donc déposé ces précipités que dans les fentes? ou bien aurait-elle déposé des masses de gneiss à la surface du sol, et du spath argentifère dans les fentes? On conçoit qu'un précipité fait dans un lieu avec plus de tranquillité puisse donner un produit plus cristallin, mais non qu'il puisse former un corps tout à fait différent : par exemple, du quartz, du feldspath et du mica dans un lieu, du plomb sulfuré et du sulfate de baryte dans un autre. »

En repoussant ainsi l'origine des filons métallifères par voie sédimentaire, on est forcément conduit par les analogies précitées à admettre qu'ils ont été produits par voie ignée, puisque ces deux modes d'origine sont les seuls pour toutes les roches. On ne peut cependant poser en principe que les filons métallifères soient exclusivement d'origine ignée. On y trouve souvent en très-grande abondance des fragments du toit et du mur, des agrégats formés par les roches environnantes et dans lesquels l'action sédimentaire est évidente. Souvent les substances métallifères n'apparaissent dans un filon que comme ciment des roches du toit et du mur ou d'autres débris fragmentaires venus d'en haut, de telle sorte que l'ensemble du filon est une sorte de brèche hétérogène à double origine. Mais les substances métallifères, les gangues à la fois cristallines et caractéristiques, telles que le sulfate de baryte, le spath fluor, le spath calcaire magnésifère, etc., ne peuvent résulter que d'une action dont le siége est placé au-dessous des couches solidifiées de l'écorce terrestre.

Cette origine est surtout manifeste dans les contrées où le développement des minerais, en gîtes irréguliers, apparaît comme une des conséquences du voisinage des roches ignées et du métamorphisme des terrains de sédiment. La chaîne métallifère de

la Toscane, qui borde la Méditerranée depuis les montagnes de la Spezzia jusqu'au Monte-Argentario, présente sous ce rapport les faits les plus multipliés et les plus concluants.

Cette chaîne est une bande montagneuse parallèle au rivage, et s'étendant en largeur jusque par delà Sienne et Florence. Ses sommités sont multipliées et diffèrent peu de hauteur ; de telle sorte que la chaîne ne présente pas d'axe et qu'on peut la considérer comme composée de nombreux groupes accolés, parmi lesquels on a peine à trouver au premier aspect des centres de soulèvement. Les centres culminants ont reçu des dénominations spéciales, parmi lesquelles nous citerons Montieri, Monte-Castelli, Monte-Calvi, l'île d'Elbe, le Monte-Argentario, etc.

Les terrains de cette vaste superficie, successivement étudiés par MM. Brongniart, Savy, Collegno, etc., ont été reconnus comme appartenant principalement à des calcaires de l'époque jurassique, presque toujours à l'état cristallin (marbres de Carrare); et à des calcaires (alberese), des schistes (galestro), des roches arénacées (macignos) de l'époque crétacée. Ces divers terrains sont recouverts en quelques points par des dépôts tertiaires (mattajone) disposés en bassins, ou par de larges traînées alluviennes accumulées principalement dans les vallées qui partent des Apennins. Les plus anciens reposent souvent sur des couches schisteuses (verrucano) semi-cristallines qui ont les caractères des schistes de transition, mais sont probablement, dans la plupart des cas, d'une époque plus moderne.

La majeure partie des roches stratifiées, appartenant aux époques jurassique et crétacée, contrastent d'une manière précise avec les roches ignées, qui les ont traversées en une multitude de points. On peut donc, dans ces terrains mieux que dans tout autre, apprécier l'influence métamorphique des serpentines et des roches feldspathiques. Cette influence a été des plus énergiques. Ainsi près de ces roches ignées les calcaires sont passés à l'état de marbres et de dolomies ; des roches arénacées quartzeuses ont été transformées en jaspes rouges (gabbro rosso), des schistes arénacés en schistes cristallins. Ces transformations se montrent

d'une manière si subite, si prononcée, que depuis long-temps elles ont été signalées, et que M. Fournet les a récemment définies d'une manière heureuse en disant que dans aucune contrée l'influence ignée ne paraissait avoir été aussi générale et aussi proche de la surface du sol.

Les gîtes métallifères sont très-multipliés dans cette chaîne, on y rencontre surtout : des amas de fer oxydé (île d'Elbe, Monte-Valerio, Bocchegiano); des couches quartzeuses stratifiées dans le terrain crétacé et pénétrées de pyrites cuivreuses, cuivre gris, galène et blende (Montieri, Serra-Bottini, l'Accesa); puis des filons irréguliers en stocwerks composés d'oxydes de fer, de pyrites martiales et cuivreuses, de blende et de galène, disséminés dans des gangues d'amphibole et d'yénite (filons du Campigliese), ou dans des gangues serpentineuses (Monte-Cattini, Monte-Vaso, Monte-Nero, Rocca-Tederighi).

Tous les gîtes de cette contrée métallifère sont plus remarquables par leur généralité et leur étendue que par leur richesse; dans la partie orientale de l'île d'Elbe, la presqu'île de Piombino, le Campigliese, le Massetano, on rencontre à chaque pas des gangues métallifères. Or, si l'on étudie les gîtes, on trouve que nulle part il n'y a liaison aussi intime avec les roches ignées sous le rapport du gisement, de la forme et de la composition. Quelques exemples établiront ce fait.

L'île d'Elbe, célèbre de tout temps par ses mines de fer, comprend deux groupes de terrains très-distincts. Le Monte-Campana, centre de la partie occidentale, est un groupe conique de montagnes composées presque entièrement de roches feldspathiques, qui ont traversé et surmonté les terrains sédimentaires. Ces roches sont surtout remarquables en ce qu'elles présentent des cas de toutes les variétés feldspathiques; le plus souvent elles sont à l'état de porphyres quartzifères, mais sur plusieurs points elles prennent la texture granitique et sur quelques autres elles sont à l'état de trachyte. Ces éruptions porphyriques, qui dans leurs caractères minéralogiques résument toutes les variations des roches ignées feldspathiques, se retrouvent sur le continent en

beaucoup de points de la chaîne; ce sont les plus modernes, car elles traversent à la fois les dépôts jurassique et crétacé et les serpentines qui sont elles-mêmes postérieures à ces dépôts : elles paraissent dans plusieurs cas avoir été les agents de la dislocation des terrains tertiaires. Sur les divers points de leur développement, ces roches ont profondément modifié les dépôts de sédiment et leur ont imprimé ce tissu cristallin qui leur donne un *facies* de transition : peut-être les acides boriques de la Toscane ne sont-ils qu'une dernière influence de la sortie de ces porphyres qui abondent en tourmalines. Sur aucun point on n'a pu encore observer de liaison entre ces roches et les gîtes métallifères; tout le groupe du Monte-Campana, par exemple, est stérile en minerais.

Les gîtes de minerais de l'île d'Elbe sont concentrés avec les serpentines, dans la partie orientale de l'île d'Elbe. Les roches sédimentaires de cette partie de l'île sont également métamorphiques, mais le métamorphisme y affecte un caractère particulier remarquable par la fréquence des gabbro-rosso et par les mélanges des diverses roches avec les principes serpentineux; mélanges qui constituent des marbres analogues aux marbres campan des Pyrénées, et divers gabbros argileux, verts ou rougeâtres, à structure glanduleuse. Cette concordance géographique des serpentines et des gîtes métallifères résulte d'ailleurs d'une concordance encore plus prononcée dans les gisements.

L'amas de fer oligiste et de peroxyde exploité près de Rio est compris entre les couches schisteuses relevées sur les flancs des montagnes de Sainte-Catherine : or tout ce groupe est composé de masses serpentineuses, de telle sorte que cet amas puissant doit être considéré comme un véritable gîte de contact. La nature essentiellement cristalline de ce gîte, son enchevêtrement dans les diverses couches métamorphisées du terrain encaissant éveillent l'idée de sublimations métallifères prolongées à travers ces couches; l'étude des détails démontre que ces sublimations ont eu lieu sous l'influence d'une chaleur et d'une pression considérables.

En effet, les gangues varient avec les roches en contact : elles

Fig. 17.



... Calamita.

sont de quartz cristallin dans les schistes quartzeux ; dans les couches calcaires elles sont d'amphibole actinote et d'yénite. Les roches encaissantes elles-mêmes ont donc évidemment fourni une partie des éléments qui forment les gangues ; or ces déplacements moléculaires, l'état cristallin des couches dont l'âge ne peut être bien éloigné de l'époque jurassique (d'après les indications de continuité avec d'autres moins altérées) constituent un ensemble de phénomènes qui n'a pu se produire que sous une influence ignée très-énergique.

L'amas de fer oxydulé et d'hématite du mont Calamita ne laisse aucun doute à cet égard. Cet amas, bien plus puissant que celui de Rio, est enclavé dans une des principales montagnes de la même partie de l'île. La montagne de Calamita a été produite par le soulèvement des roches stratifiées dont la charnière de rotation est la vallée qui sépare Porto-Longone de Capoliveri ; de telle sorte qu'elle présente du côté de la mer la coupe des couches soulevées. Au cap Calamita, qui forme la saillie la plus avancée, le gîte présente un caractère décisif exprimé par la vue ci-jointe.

La masse principale est composée de fer oxydulé et d'hématite ; tout le couronnement des escarpements présente une série de calcaires et de schistes cristallins stratifiés. Au contact du minerai et des roches stratifiées, on remarque surtout une couche de dolomie blanche, grenue, dont les caractères tranchés expriment de la manière la plus complète les perturbations de la stratification. Cette couche, courbée en voûte, forme un immense arceau de 100 mètres de hauteur (fig. 27).

La disposition du terrain ne permet pas de douter que les minerais de fer n'aient réellement joué le rôle de roches soulevantes, et que les faits multipliés de métamorphisme que présentent les roches stratifiées ne soient également dus aux phénomènes d'émanation qui ont accompagné leur sortie. Ainsi la couche la plus apparente et qui contraste le mieux avec les roches soulevantes est précisément la couche calcaire qui est en contact avec elles et supporte les couches de verrucano formant le haut de l'escarpement. Cette couche calcaire est changée, sur presque tous

les points de son développement, en dolomie saccharoïde, compacte ou grenue : accidentellement on peut y remarquer dans les fissures le fer oxydulé à l'état cristallin et des infiltrations cuivreuses qui la colorent en vert ; souvent le contact de cette roche soulevée et de la masse ferrugineuse soulevante présente des magmas d'amphibole à base de chaux et d'yénite, gangues évidemment produites par une réaction de contact.

Si l'on étudie cette énorme masse, enfoncée comme un véritable coin dans les strates calcaires et schisteux, et révélant sur tout son pourtour des phénomènes détaillés de fracture et de métamorphisme, on voit que la masse centrale est composée de fer oxydulé très-compacte et très-dur ; en certains points, ce fer oxydulé, mélangé d'hématite brune, forme des magmas, de véritables brèches, avec des fragments anguleux de roches brisées et altérées. Le plus souvent l'existence de puissantes masses calcaires ou schisteuses dissoutes dans le minerai s'annonce par des zones d'amphibole et d'yénite et des zones un peu siliceuses ; il en résulte pour l'ensemble une disposition par zones ondulées, concentriques et parallèles, qui, en quelques points, donne au gîte une apparence de structure amygdaline.

Il faut toute l'intensité et toute l'évidence de ces caractères pour faire admettre que les émanations métallifères aient pu ainsi sortir presqu'à la manière des roches ignées, avec calorique, pression et une puissance métamorphique aussi grande ; mais ce fait une fois constaté donne l'explication d'une foule de caractères des gîtes de minerais. Ainsi, près du cap Calamita, le rocher de Punta-Rossa est une colonne éruptive de fer à divers degrés d'oxydation, éruption qui a eu lieu à la manière de certains dykes basaltiques. Autour de cette masse ferrugineuse les schistes présentent de nouveaux phénomènes de métamorphisme. La chaux sulfatée, le quartz résinite, etc., montrent que ces phénomènes doivent varier à chaque pas, non-seulement d'après la nature des matières éruptives, mais plus encore d'après la composition des roches traversées.

Les gîtes de la chaîne continentale présentent des dispositions

non moins caractéristiques. Ainsi on exploite sur un grand nombre de points des gîtes de contact qui sont liés d'une manière si intime avec les serpentines qu'ils semblent contenus dans leur masse même. A Monte-Cattini, le gîte exploité affecte la forme d'un filon irrégulier dont la puissance varie de 1 à 3 et 4 mètres; la masse est une argile stéatiteuse ou une serpentine altérée dans laquelle on trouve disséminés des rognons de cuivre pyriteux, de cuivre panaché et de cuivre gris. Ces rognons, assez irréguliers dans leur disposition, n'ont jamais manqué jusqu'ici à l'exploitation; on a souvent remarqué qu'ils semblaient reposer sur le mur, qui est incliné à 45°, par une surface à peu près plane, tandis que leur surface vers le toit était bombée. La pénétration des principes métallifères dans les stéatites qui forment la gangue est telle qu'en soumettant une partie de ces matières à un lavage on recueille un schlick de pyrite cuivreuse. Étudié dans ses détails, ce gîte est réellement un filon de contact entre la serpentine et le gabbro rosso.

Les gîtes de cette nature sont très-nombreux sans être cependant aussi riches que celui de Monte-Cattini, qui produit annuellement une quantité considérable de minerai. Celui qu'on exploite à Monte-Vaso est dans des conditions analogues. Enfin on a également suivi à Rocca-Tederighi et à Monte-Ne o de véritables filons de contact suivant les contours des masses serpentineuses, se ramifiant comme elles, et remplis par les débris de leur propre masse mélangés de minerais pyriteux en nodules, veines et particules disséminés. L'id'e théorique éveillée par l'étude de ces gîtes est qu'ils ont été formés par des émanations métallifères, émanations qui ont immédiatement suivi l'éruption des masses serpentineuses et se sont concentrées dans les fractures produites par le retrait de ces mêmes masses vers leur contact avec les roches traversées. Les gangues ont été formées par la matière même des serpentines.

L'examen de la forme et de la nature des substances métallifères vient à l'appui de cette théorie. Ces substances, lorsqu'elles sont disséminées sous forme de particules et de veines

dans les gangues, sont constamment à l'état de cuivre pyriteux, qui est en quelque sorte le minerai normal du cuivre, le produit direct des émanations. Lorsqu'au contraire le minerai est rassemblé en boules ou rognons, il est à l'état de cuivre panaché; or cette combinaison dérive du cuivre pyriteux soumis à l'influence prolongée du calorique. Si, dans un traitement métallurgique, on soumet à l'action du feu une masse considérable de gangues contenant du cuivre pyriteux disséminé, et qu'on maintienne cette masse à l'état pâteux, un transport moléculaire s'effectue et donne lieu au rassemblement en nodules des parties métallifères, en même temps que l'action du calorique réduit le cuivre pyriteux à l'état de cuivre panaché. Une action analogue semble avoir été produite dans les filons de contact et avoir donné lieu au rassemblement de ces nodules dont nous avons cité la forme souvent aplatie du côté du mur, et qui sont plus abondants vers le mur que vers le toit : comme s'il y avait eu un commencement de liquation entre toutes les matières qui remplissaient le filon.

Le Campigliese fournit l'exemple d'une troisième disposition qu'on peut appeler filons en stocwerks. Cette province est en effet sillonnée de nombreux affleurements qui sillonnent les marbres jurassiques et les calcaires ou schistes crétacés. La plupart de ces affleurements suivent la direction de l'arête culminante du Monte-Calvi, autour duquel ils sont principalement groupés; mais, au lieu d'être continus comme dans les véritables filons, ils sont très-interrompus, comme si ces matières n'avaient pu arriver qu'en certains endroits de leur direction à la surface du sol. C'est qu'en effet ce ne sont pas des filons-fentes, mais de véritables dykes métallifères sortis à la manière des roches trappéennes à travers le terrain disloqué.

Dans les points nombreux où ces filons ont été ouverts, ils affectent l'allure la plus irrégulière. Ils n'ont ni toit ni mur définis, mais ils s'enchevêtrent dans les marbres jurassiques ou les schistes crétacés qu'ils traversent en les pénétrant et les métamorphisant de manière à en rendre la composition mixte.

Les gangues de ces filons sont des hématites brunes manga-

Fig. 28.



Vue des filons amphiboliques avec Blende et Galène de la Cava del Rombo dans le Campigliése en Toscane.

nésifères, compactes ou terreuses, de l'yénite, et surtout des amphiboles vertes ou jaunâtres, à base de magnésie et de chaux, dont les grandes aiguilles, rayonnant du centre à la circonférence, produisent des effets de groupement radié très-remarquables. Les matières métallifères : cuivre pyriteux, blende ou galène, occupent le centre de ces rognons rayonnés ou sont disposées suivant des zones concentriques, de telle sorte que le minerai est bien évidemment contemporain de la gangue.

La fig. 28 représente, à la Cava del Piombo, l'exploitation à ciel ouvert d'un de ces filons. Elle exprime à la fois la structure en grand de la masse métallifère, enchevêtrée dans le calcaire, et sa structure de détail, globuleuse et radiée. Les parties qui n'affectent point cette structure radiée sont remplies soit par des amphiboles à petites aiguilles confusément groupées et imprégnées de minerai, soit par des hématites compactes ou terreuses, soit enfin par le calcaire interposé.

Tous les filons du Campigliese présentent des caractères identiques, qu'on peut constater sur beaucoup de points où des excavations ont été pratiquées; seulement les minerais y varient beaucoup de nature. La galène, la blende, le cuivre pyriteux, le fer sulfuré se substituent très-souvent les uns aux autres de manière à rendre toute appréciation de la valeur de ces filons très-incertaine, en dehors des points mêmes où l'on opère. Partout ces matières métallifères se montrent incontestablement contemporaines des gangues où elles sont disséminées, et l'ensemble de ces gîtes constitue de véritables dykes sortis à travers les terrains stratifiés qu'ils coupent, suivant des directions déterminées, par des éruptions non continues mais assez rapprochées les unes des autres pour que les directions soient faciles à suivre. Ces directions sont parallèles entre elles et parallèles aux lignes caractéristiques de la configuration du sol, à savoir, la direction des crêtes culminantes et du littoral. Enfin ces dykes métallifères ont divisé et métamorphisé les terrains de manière à prouver qu'ils sont sortis, comme les roches ignées, sous la double influence de la chaleur et de la pression.

Cette rapide description des gîtes métallifères de la Toscane démontre donc de la manière la plus directe, que les minerais cristallins, à l'état d'oxydes et de sulfures, sont un des effets du refroidissement du globe terrestre. L'analogie conduira nécessairement à attribuer une origine identique aux gîtes dont les formes ne peuvent être interprétées. Ainsi, lorsqu'on trouvera des minerais de même nature dans des couches minces et régulièrement stratifiées, comme celle du Kupferschiefer en Thuringe, ou comme les couches de Montieri et du Massetano, ne sera-t-il pas présumable que ces minerais dérivent de la même origine, et qu'ils n'ont pu être amenés dans ces couches que par des influences analogues? Ces influences peuvent d'ailleurs être contemporaines ou postérieures aux dépôts : contemporaines lorsqu'elles auront été directement amenées dans les eaux sédimentaires, comme cela est probable pour les schistes du pays de Mansfeld; postérieures lorsque les émanations métallifères auront suivi le sens de la stratification et métamorphisé certaines couches, ainsi que cela est probable pour les couches quartzeuses du Massetano.

Il est inutile de faire ressortir l'importance de cette appréciation des origines pour l'application. Les recherches de mines ne doivent-elles pas être dirigées d'après l'allure du gîte? Ces allures de *filon-fente, filon de contact, filon en stocwerks, amas, couche métamorphique*. ne peuvent être appréciées que par des études détaillées de la forme du gîte, de sa composition, et de la disposition du terrain encaissant. Une pareille étude, lorsqu'elle a pour but l'établissement de travaux souterrains, doit être surtout appuyée sur des comparaisons avec des gîtes analogues exploités et bien connus; nous essaierons donc de résumer dans le chapitre suivant les conditions essentielles de ceux qui concourent aujourd'hui à la production des métaux.

CHAPITRE SIXIÈME.

DESCRIPTION DES DISTRICTS MÉTALLIFÈRES.

Tous les métaux ne se trouvent pas mélangés au hasard dans les gîtes métallifères; il y en a qui sont presque toujours isolés, d'autres ne le sont que très-rarement : mais leurs associations sont presque toujours les mêmes, et paraissent subordonnées à des lois résultant de leur origine.

Ainsi la nature n'a pas produit isolément chaque minerai de telle sorte qu'on puisse prévoir une classification des métaux ; mais dans chaque contrée métallifère on a pu distinguer des époques différentes de génération, et chacune de ces époques a été caractérisée par des minerais et des groupements particuliers. Ces distinctions, établies dans chaque district et comparées entre elles, démontrent qu'il existe réellement un ordre géognostique d'apparitions que les recherches ultérieures de la science pourront dévoiler, mais qu'il est bien difficile de fixer d'après les données actuelles.

Il ne faut d'ailleurs chercher dans cette classification que des faits analogues à ceux que nous présentent les minéraux qui constituent la série des terrains ignés, effets plus immédiats, plus généraux, d'une cause identique. Il s'en faut que ces minéraux puissent être classés isolément, et pourtant les résultats de leurs groupements composent une série de roches très-distincte.

Le feldspath est un principe commun à toutes ces roches, depuis les granites les plus anciens jusqu'aux laves modernes; il éprouve seulement quelques modifications dans ses caractères et l'un de ses éléments. Les minerais de fer nous présentent un fait analogue; ils appartiennent à toutes les époques géognosti-

ques, servent souvent (comme le feldspath relativement au pyroxène, à l'amphigène, etc.) de gangues à d'autres minéraux dont ils semblent les véhicules. Enfin on ne peut établir quelque distinction dans la série des minerais de fer que par la variation des combinaisons; les fers carbonatés lithoïdes ou spathiques étant, par exemple, d'une époque généralement plus ancienne que les fers oxydulés ou oligistes.

Le quartz est un élément très-ancien dans les roches cristallines. Des granites aux porphyres et aux trachytes, il y a diminution et suppression complète du quartz; de telle sorte qu'on peut poser en principe que plus des roches sont quartzeuses, plus elles sont anciennes. Le mica présente des circonstances analogues. Dans les minerais, les mêmes faits se présentent; l'oxyde d'étain, le volfram sont des minerais anciens et leurs gîtes ont constamment précédé ceux des autres minerais.

Enfin, dans les éléments des roches ignées, nous trouvons des exemples d'affinité et de répulsion qui se reproduisent encore dans l'étude des minerais. Ainsi, à la répulsion du pyroxène et de l'amphibole, du feldspath et du péridot, à l'affinité du péridot et du pyroxène, correspondent l'affinité remarquable et constante de l'or natif pour les pyrites de fer et les hydroxydes qui en proviennent, l'affinité de l'argent sulfuré et de la galène, les groupements presque constants des oxydes de fer, de manganèse et de titane, des minerais de cobalt avec ceux du nickel; tandis que d'autres minerais, tels que le cinabre, la calamine, le platine, semblent annoncer, par leur isolement presque constant, une répulsion pour tous les autres.

En suivant cet ordre d'idées, on voit qu'il y a, pour la classification géognostique des minerais, des éléments presque aussi nombreux que pour celle des éléments cristallins qui constituent les roches ignées. Mais, dans l'un et l'autre cas, la difficulté d'arriver à poser des faits absolus résulte de l'impossibilité de comparer entre eux les faits isolés dans des districts éloignés; districts qui diffèrent les uns des autres par leur composition et leur âge de formation.

Les faits recueillis dans les divers districts métallifères ne sont pas encore assez complets pour qu'on puisse en déduire cette classification géognostique. Nous nous bornerons donc à faire ressortir ce qui a été constaté dans chacun d'eux à cet égard, en ne suivant d'autre ordre pour leur description que celui de l'importance des produits indiquée par le tableau page 6.

Districts métallifères de l'Angleterre.

Depuis le treizième siècle l'Angleterre s'est placée et maintenue en tête de la production européenne. Elle doit ce rang à la possession des deux riches districts métallifères situés principalement dans le Cornwall et dans le Cumberland, et à la puissance d'exploitation qu'y ont développée le bas prix du combustible et l'esprit industriel de la nation. Le pays de Galles est aujourd'hui un centre où se traitent non-seulement la plus grande partie des minerais extraits dans les îles Britanniques, mais encore des minerais importés de Toscane, de Cuba et du Chili.

Le Cornwall fournit seul tout l'étain et les sept huitièmes du cuivre produit par l'Angleterre. La surface ondulée et aride de cette contrée ne présente presque exclusivement que des roches schisteuses de transition, accidentées à la fois par des granites et par des porphyres : la chaîne Ocrinienne qui en forme l'axe, est une série de collines granitiques arrondies dont la hauteur ne dépasse pas 3 à 400 mètres au-dessus du niveau de la mer. Ces sommités granitiques sont enveloppées par des schistes argileux passant aux schistes talqueux et amphiboliques appelés killas, dont les couches se relèvent autour du granite qui les a traversées. Ce sont les seules roches visibles dans les vallées et sur les plateaux, sauf les interruptions que leur font subir des dykes d'un porphyre appelé elvan. La réunion de ces trois roches, granite, elvan et killas, constitue le sol métallifère; les filons qui contiennent l'étain et le cuivre, et forment le véritable caractère de la richesse du pays, ne dépassent pas Truro; le nord-est du comté, ainsi que la partie avoisinante du Devonshire, où se mon-

trent des grauwackes et des calcaires esquilleux postérieurs au killas, ne présentent plus que de rares filons de composition différente, tels que les filons d'antimoine de Huel-Boys et les mines de plomb de Pentiglaze.

L'oxyde d'étain et la pyrite cuivreuse, qui sont ainsi les deux minerais caractéristiques du Cornwall, se trouvent principalement en filons disposés de telle sorte qu'on peut regarder l'oxyde d'étain comme antérieur à la pyrite, mais avec une liaison indiquée par l'existence de certains filons à la fois stannifères et cuprifères. Il paraît en effet que la génération de ces gîtes n'a pas été instantanée, mais qu'on doit la considérer comme un phénomène lent et continu qui, entre les deux périodes, a présenté des alternances des deux minerais.

A une époque postérieure, d'autres fentes furent encore produites mais remplies de matières stériles auxquelles s'adjoignent quelquefois des minerais plombifères et blendeux trop pauvres pour qu'on en ait pu tirer parti. Ces filons sont les croiseurs (cross course).

De puissants dykes du porphyre quartzifère appelé *elvan* sillonnent encore le district; ces porphyres paraissent antérieurs au terrain houiller et appartiennent par conséquent à l'époque la plus récente des terrains de transition. D'après les recherches de M. de La Bêche, les dykes d'elvan, un seul excepté, sont antérieurs aux filons métallifères; mais, outre cette exception, il existe des exemples nombreux de pénétration des principes métallifères, de l'étain surtout, dans l'elvan. Ces circonstances d'enrichissement évident des filons par le contact de l'elvan autorisent à conclure que ce porphyre est réellement la roche métallifère de la contrée, roche dont la sortie a précédé les émanations métallifères, et a peut-être contribué à provoquer la formation des fentes à filons; de telle sorte que les éruptions de l'elvan, la formation des filons et leur remplissage successif par des gangues d'abord stannifères, puis cuprifères, puis enfin plombifères, constituent une série de faits qui peuvent être considérés comme appartenant en masse à l'époque de la formation supé-

rieure de transition, mais qui, détaillés, présentent une série géognostique d'actions et d'effets dont les termes distincts alternent entre eux ainsi qu'il arrive pour les produits des actions sédimentaires.

La description intéressante de MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont vient à l'appui de cette hypothèse. En effet, il en résulte que la direction générale de la grande majorité des filons d'elvan et des filons métallifères est parallèle à la série des protubérances granitiques qui forment l'axe du Cornwall dont ils ont probablement déterminé le soulèvement général. Les intersections de ces filons ont donc lieu généralement sous des angles très-aigus, soit suivant le plan d'inclinaison, qui est presque toujours au delà de 45°, soit suivant le plan de direction.

La production de l'étain en Cornwall représente, à peu de chose près, toute la production européenne : elle a, en effet, atteint le chiffre de 45,000 quintaux métriques, tandis que celle de la Saxe ne dépasse plus 3,500 quintaux, et que celle de quelques mines existant en Suède et en Autriche s'élève à peine à 750 et 380 quintaux.

Les filons stannifères du Cornwall sont principalement composés de quartz; ce quartz est mélangé tantôt de chlorite, tantôt de tourmaline et même de mica : l'uniformité de ces gangues est accidentellement interrompue par l'hydroxyde de fer, quelquefois par du spath-fluor. Dans les gangues ainsi caractérisées, se trouvent disséminés en particules, en petits cristaux, en nœuds, veines et druses cristallines, le peroxyde d'étain, but principal des recherches et des travaux souterrains. Comme minerais annexes, on y trouve d'abord la pyrite cuivreuse qui, même dans certains cas assez rares, devient dominante, à tel point que la mine d'étain devient une mine de cuivre; on y trouve en second lieu le mispickel, le fer arséniaté, l'uranite, le volfram.

La richesse du filon, ou en d'autres termes la teneur des gangues, est très-variable; on peut évaluer à 2 p. 100 la teneur moyenne des massifs abattus, et à ce taux l'exploitation

est encore avantageuse, même dans les roches dures, parce que les frais de préparation mécanique et de traitement métallurgique sont faibles pour ce minerai qui est à l'état d'oxyde et dont la densité est considérable. Aussi les filons sont-ils presque toujours productifs lorsqu'ils sont stannifères. Des pertes ayant été occasionnées par la rencontre de parties stériles, on a dû chercher à se rendre compte de toutes les influences qui paraissent avoir contribué à féconder les filons.

Il résulte de ces observations que les filons d'étain sont concentrés vers la limite de contact des granites et du killas, mais que leur siége principal est le granite. Ainsi les filons d'étain ont leur siége principal dans les environs de Saint-Just, vers l'extrémité S.-O. du district, partie où dominent les granites. Il est cependant à remarquer que quelques filons stannifères, qui sont en totalité ou en partie dans le killas, y sont plus riches que tous les autres; d'où l'on pourrait peut-être conclure que les cassures de cette première époque ont porté principalement sur la région granitique, mais que le killas avait alors, comme cela se trouve confirmé par les filons cuprifères postérieurs, une plus grande aptitude à condenser ou à retenir les émanations métallifères.

L'allure des filons d'étain est très-variable et telle qu'on doit nécessairement en attribuer l'origine à des fentes produites suivant une certaine direction, dans des roches hétérogènes. Ainsi il y a des filons qui ont été suivis sur plus de 2,000 mètres et dont la puissance moyenne est entre m. 0,60 et m. 1,20 : ils présentent fréquemment des étranglements complets ou des renflements à 3 et 4 mètres. Généralement un renflement correspond à une accumulation de minerai, et c'est pour cela qu'un filon s'enrichit d'autant plus, dans le cas d'intersection par un autre filon, que l'angle de croisement est plus aigu; au contraire, si un filon vient à se bifurquer ou à se ramifier, il y a appauvrissement. Cette bifurcation se manifeste surtout dans un changement de terrain : ainsi, dans certains cas, des filons qui courent dans le granite se bifurquent et s'éteignent dans le killas; d'autrefois c'est l'inverse qui a lieu.

L'oxyde d'étain se montre encore en stocwerks; ces stocwerks existent surtout dans le granite et rarement dans le porphyre elvan. Parmi ceux que renferme le granite, celui de Saint-Austle est surtout remarquable parce que son exploitation à ciel ouvert permet d'en étudier les diverses parties. Le granite encaissant est friable par la décomposition du feldspath en kaolin, il est traversé par un grand nombre de veines composées de quartz tenant de la tourmaline et de l'oxyde d'étain. Ces veines ont 12 à 15 centimètres de puissance; les principales sont verticales et dirigées E.-O; d'autres, inclinant vers le sud, coupent les premières et se soudent avec elles en donnant naissance à des druses. En résumé, la disposition du gîte concorde avec l'idée d'une origine postérieure au granite encaissant qui aurait été successivement soumis à des mouvements qui l'ont fracturé, et à des émanations qui en ont en quelque sorte métamorphisé la masse.

Toutes les roches du district, préexistantes comme le granite, aux émanations métallifères, peuvent donc présenter, comme lui, quelques cas d'un métamorphisme analogue. C'est en effet ce qui arrive pour le killas, avec des circonstances spéciales résultant de la structure schisteuse de ces roches. Ce genre de gîtes est connu dans le Cornwall sous la dénomination de tinfloors; il consiste en veines et petits amas d'oxyde d'étain avec les gangues ordinaires de quartz et de tourmaline, lesquels sont disposés principalement dans le sens de la stratification. Ces gîtes sont presque toujours placés vers le contact du granite avec le killas dont les plans de contact semblent avoir servi de cheminées aux émanations métallifères qui se sont infiltrées dans les plans de séparation des couches schiteuses. Cette disposition, qui a souvent été présentée comme une preuve de la contemporanéité du killas et de l'oxyde d'étain, ne nous semble qu'une manière d'être speciale du gîte en stocwerks; elle se reproduit d'ailleurs dans beaucoup d'autres contrées métallifères où l'on ne peut avoir l'idée d'un gisement contemporain et s'explique par la structure même du killas dont les couches ayant été sou-

mises à une grande pression de la part d'émanations métallifères qui tendaient à sortir vers la surface, ont dû, dans beaucoup de cas, se séparer, se disjoindre, et par conséquent se métamorphiser dans le sens de la stratification.

Il nous reste enfin à citer encore dans le Cornwall les alluvions stannifères, résultats évidents de l'action des eaux sur les gîtes préexistants. Ces alluvions sont anciennes et recouvertes, suivant les localités, de 5, 10 et jusqu'à 20 mètres d'autres alluvions; on y trouve des fragments de granites, d'elvan, de killas, et la présence de l'étain y est annoncée par des galets composés de quartz et de tourmaline, gangues ordinaires des minerai en place. L'étain y est tantôt en éléments très-fins, mêlé à des sables rassemblés à la partie inférieure du dépôt; tantôt disséminé en galets assez gros. Les pyrites et le mispickel ont disparu; aussi les exploitations de ces alluvions, ainsi placées dans les mêmes conditions que celles de Banca, fournissent-elles de l'étain très-pur et très-recherché. Ces gîtes, désignés sous le nom de *stream vorks*, se trouvent à proximité de Saint-Just et de Saint-Austle, centres principaux des gîtes en places. Les stream vorks fournissent seuls l'oxyde d'étain fibreux et concrétionné, dit étain de bois; mais cette variété a été trouvée en place dans de petits filons et dès lors ces minerais alluvions peuvent être tout à fait identifiés à ceux des gîtes en place, sauf le fait remarquable de la disparition de tous les minerais annexes.

Les gîtes de minerais de cuivre consistent, dans le Cornwall, en filons puissants concentrés principalement vers l'Est du district, aux environs de Redruth. La roche constituante de cette partie du district est, ainsi qu'il a été dit, le killas. Enfin, la direction générale des filons métallifères coïncide à peu près avec la direction générale des côtes et de l'axe de la chaîne Ochrinienne; tandis que des filons croiseurs coupent presqu'à angle droit les filons de cette époque.

La composition des filons cuivreux est simple, la gangue est exclusivement le quartz : l'hématite brune, les roches alté-

rées du toit et du mur, l'argile, enfin, se joignent accidentellement au quartz, et font varier l'aspect et la dureté des masses. Dans les filons à gangue saine et dure, le minerai principal est la pyrite cuivreuse à laquelle se joignent le sulfure de cuivre, l'oxydule, le cuivre natif; les minerais annexes sont la pyrite de fer, le mispickel, l'oxyde d'étain et la blende. Dans les gangues pourries, dont l'altération se manifeste surtout par la prédominance de l'hydroxyde de fer, les sulfures disparaissent, et l'on trouve le cuivre à l'état de bioxyde, de carbonate, d'arséniate, etc. Toutes ces matières imprègnent le quartz, et lorsqu'il existe des fragments du toit ou du mur ils sont liés entre eux et empâtés par ce même quartz métallifère.

L'argile ne se trouve qu'en salbandes, et est ordinairement stérile. Dans l'allure de ces salbandes qui, dans beaucoup de filons, n'existent que d'un seul côté et passent quelquefois de l'autre côté en coupant le filon, on est conduit à supposer que cette argile est postérieure au filon lui-même, qui a été en quelque sorte rouvert après un premier remplissage et rempli de nouveau.

L'hydroxyde de fer domine surtout dans la partie supérieure des filons; il en forme l'affleurement, et détermine en quelque sorte, par les faits de composition qu'il présente, si le filon est riche ou pauvre et si par conséquent l'on doit y entreprendre des travaux. En effet, cette gangue ferrugineuse, qui paraît résulter de la décomposition des pyrites, est plus facile à explorer par sa position superficielle, sa nature fendillée et quelquefois même pourrie, que les autres parties du filon. Elle peut donc fournir, par sa teneur en composés métallifères, des indices précieux sur la composition intérieure. Enfin ces parties sont soigneusement recherchées lorsqu'elles contiennent des minerais décomposés et par conséquent plus faciles à traiter que les sulfures.

Les filons de cuivre sont remarquables par leur étendue; celui d'*United-Mines* a été, dit-on, reconnu sur une longueur de 9000 mètres. Ces filons sillonnent les environs de Redruth,

concentrés principalement sur une largeur d'environ 12 kilom. et une longueur égale : la pl. 25 donnera une idée de leur allure et de la manière dont ils sont accidentés par les croiseurs. Cette carte, faite d'après les notes de M. Daubrée, représente les principaux filons du district d'*United* et de *Consolidated-Mines ;* elle fait bien comprendre ce que l'on doit entendre par les directions générales qui ne sont pas tellement rigoureuses qu'il n'en puisse résulter des croisements. La puissance moyenne des filons de cuivre est entre 1 et 2 mètres ; cette puissance, comme celle des filons d'étain, est sujette à des renflements et à des étranglements nombreux et, dans beaucoup de cas, l'allure est encore compliquée par des divisions et des bifurcations.

De nombreux enseignements sont fournis par les filons du district de Redruth. Un des plus frappants et des plus utiles, dans le cours des exploitations, est celui qui est relatif aux croisements ; les rejets occasionnés sont généralement du côté de l'angle obtus, et, plus l'angle est obtus, plus le rejet est considérable. MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont ont cité des exemples nombreux de cette règle, qui sans être absolument rigoureuse est généralement admise dans les districts de mines. Le grand filon de Carharack fournit le plus frappant de ces exemples : ce filon, d'une puissance de m. 2,40, est dirigé E.-O., et plonge vers le nord de 30°. Une première intersection le rejette de 5 à 6 mètres, une seconde de 40 mètres, et les deux rejets sont du côté de l'angle obtus.

La richesse des filons n'est pas uniforme, même dans le sens de l'inclinaison, et l'on admet que la teneur s'accroît jusqu'à une certaine profondeur à partir de laquelle il y a décroissance. Ainsi, dans les filons d'United-Mines, la richesse commence à 100 mètres environ et paraît avoir suivi cette loi d'accroissement jusqu'à 4 et 500 mètres ; à Saint-Austle, les filons riches à la surface, sont appauvris à 200 mètres. Il paraît donc exister une zone de richesse maximum, dont la position peut d'ailleurs varier par rapport à la surface.

Enfin, des circonstances remarquables d'enrichissement sem-

blent liées tantôt à des croisements, tantôt à la nature des roches encaissantes.

Ainsi le grand croiseur N.-S., indiqué dans les environs de Gwennap (fig. 25), a été regardé comme ayant enrichi tous les filons croisés et a été surnommé le père des filons ; de telle sorte que l'enrichissement semble avoir lieu, dans les filons de cuivre comme dans ceux d'étain, non-seulement par des croisements de filons contemporains et de même nature, mais encore par des croisements postérieurs de filons stériles ou plombifères.

Ce qu'on a appelé l'influence de la roche encaissante se manifeste par certaines relations entre les caractères du killas et les variations de richesse du filon. Les exploitants de Cornwall trouvent que les filons sont plus riches dans le killas de couleur blanchâtre que dans le killas rouge ou de couleur foncée. Ces variations du killas sont plutôt le résultat que la cause de l'enrichissement, mais elles n'en sont pas moins utiles par les indications locales qu'elles fournissent.

L'observation dont on peut tirer le meilleur parti est celle de la concentration des filons métallifères dans la région de contact du killas et du granite et dans les parties sillonnées par des dykes d'elvan. Du reste les filons traversent tantôt ces trois roches sans autre changement que quelques modifications d'allure ou de puissance, tantôt ils se bifurquent ou s'arrêtent subitement à l'une d'elles; d'autres fois ils ne sont riches que dans une seule de ces roches sans que le killas, le granite ou l'elvan paraissent exercer d'influence réelle et constante sur leur existence ou sur leur degré de richesse. Les influences qui ont été remarquées dans plusieurs cas sont des faits purement locaux qui ont été contredits par d'autres ; en sorte qu'un filon peut être riche et développé dans l'une des trois roches, comme il peut y être pauvre ou s'y perdre. Les faits dynamiques qui ont produit les cassures sont les seuls qui paraissent avoir déterminé la concentration des substances métallifères.

Les minerais de cuivre du Cornwall sont vendus en nature et fondus dans le pays de Galles. La teneur des minerais abattus

peut être évaluée de 2 ½ à 3 ½ p. 100; le triage ou la préparation mécanique les concentre à 7 et 9 p. 100. La quantité de minerai extraite peut être évaluée à 400,000 tonnes, concentrées par les préparations mécaniques à 150,000 contenant 8 ½ p. 100, qui sont expédiées à Swansea au prix moyen de 140 francs la tonne.

Une partie notable de la production de l'Angleterre en cuivre résulte de l'importation des minerais étrangers. La Toscane, l'île de Cuba et les mines de Coquimbo au Chili, fournissent des minerais pour environ 25,000 quintaux métriques de cuivre.

Les mines de plomb d'Angleterre sont réparties dans le Cumberland, le Derbyshire, le Devonshire et le Cornwall. Dans le Devonshire et le Cornwall, ces mines consistent en filons qui traversent le schiste argileux (killas) et la grauwacke; ces filons se retrouvent dans le gneiss, le micaschiste et la grauwacke de l'Écosse et du pays de Galles, avec les caractères généraux ordinaires. Mais, dans le Cumberland et le Derbyshire, cette formation métallifère se trouve enclavée dans les calcaires carbonifères de la partie inférieure du terrain houiller et les gisements y offrent des particularités remarquables.

Le calcaire carbonifère se compose d'alternances de couches calcaires avec des grès et des schistes analogues aux schistes houillers. Ces alternances sont fortement accidentées, souvent modifiées par les trapps appelés winstone et toadstone, lesquels se sont intercalés dans le sens de la stratification, jusqu'à trois fois dans le Derbyshire et sur des longueurs considérables. Dans les parties métallifères de ce terrain, les mineurs distinguent trois modes de gisement, appelés par eux *rake-veins*, qui sont : les filons proprement dits; *pipe-veins* et *flat-veins*, qui désignent, les premiers des amas allongés, et les seconds de véritables lits intercalés dans les couches.

Les filons constituent la plus grande partie des gîtes, leur composition est constamment la chaux carbonatée lamelleuse, la chaux fluatée, la baryte sulfatée et le quartz; les minerais contenus dans ces gangues étant la galène cubique ou grenue et

les pyrites. La forme accidentée de ces filons leur a depuis longtemps donné de la célébrité; en effet, en traversant les couches hétérogènes de la formation carbonifère et des trapps, ils éprouvent de nombreuses variations d'allure qui paraissent résulter du glissement des couches. Si, par exemple, le filon est vertical, les diverses parties contenues dans les couches traversées, au lieu de se suivre et d'avoir le même axe, sont dans des plans différents et leur prolongation est souvent indiquée par des gîtes horizontaux. Il en résulte ainsi une structure en zigzag qui avait d'abord paru une exception aux lois qui régissent la forme des filons, mais qui n'est en réalité qu'un accident. Ces filons sont en général beaucoup plus étroits en traversant les schistes et les grès que dans les calcaires, où ils sont au contraire puissants et continus; il y a même des cas assez nombreux où l'étranglement du filon est complet, du moins suivant certains plans. Enfin on a surtout observé que, dans les roches schisteuses, les filons étaient souvent remplis par des argiles et très-peu métallifères, tandis que les calcaires étaient le siége véritable des minerais et des gangues cristallines. Il y a donc eu, dans ces couches calcaires, une double influence qui y a favorisé l'extension des fractures en puissance et la concentration des substances métallifères. Peut-être le second fait n'est-il que la conséquence du premier.

Il résulte de ces deux conditions que les couches calcaires apparaissent dans le Cumberland comme le siége véritable des minerais, à l'exclusion des autres roches. Les couches supérieures ont été reconnues en outre comme plus riches que les couches inférieures; et il en est résulté : 1° une limite supérieure de la richesse, laquelle est indiquée par la dernière couche arénacée, dite milstone-grit, qui se trouve à une profondeur moyenne de 100 mètres; 2° une limite inférieure, indiquée par l'appauvrissement des gîtes, qui ne sont exploités dans la plupart des mines que jusqu'à la sixième assise calcaire de la formation, à une profondeur moyenne de 280 à 300 mètres. Entre ces deux limites il existe donc une zone horizontale métallifère d'une

épaisseur moyenne de 180 mètres. Les filons ont été poursuivis beaucoup plus bas dans certaines mines, de manière à démontrer qu'ils satisfont, malgré cette concentration apparente, à la loi de continuité en profondeur, loi qui est une des conséquences les plus essentielles de l'origine des filons. Les gîtes horizontaux ne constituent également aucune exception et ne doivent être considérés que comme les épanchements ou ramifications des filons entre les plans de stratification des couches traversées.

Les caractères de structure des gîtes du Derbyshire sont les mêmes que dans le Cumberland; seulement les intercalations horizontales des trapps y sont beaucoup plus fréquentes et la plupart des filons sont limités subitement et complétement par ces roches. M. Farey a fait une statistique d'après laquelle, le nombre des mines exploitées étant de 280, il y en a 19 dans lesquelles le filon se continue dans le toadstone. en changeant, il est vrai, d'allure et de structure, mais avec les mêmes caractères de composition. MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont, qui ont visité plusieurs de ces mines, paraissent disposés à conclure que, dans les autres cas où l'interruption est admise, cette interruption n'est qu'apparente et résulte du rejet et de la division du filon. Les exploitants ne peuvent avoir aucun motif pour rechercher la suite du filon ainsi appauvri dans une roche résistante et la suppression a été admise comme générale. Cette suppression pourrait d'ailleurs s'expliquer en supposant que les trapps ont été eux-mêmes injectés entre les plans de stratification des couches postérieurement à la formation des filons. Quoi qu'il en soit, ces gîtes plombifères du Cumberland et du Derbyshire, bien qu'ils aient été déjà l'objet d'observations nombreuses et intéressantes, peuvent être cités parmi ceux qui présentent encore le plus de sujets d'études. Les gîtes de calamine du Derbyshire paraissent liés intimement à ceux de galène; leurs conditions de forme et d'allure n'ont pas encore été définies d'une manière précise.

Districts métallifères de l'empire russe.

Les mines de la Russie sont rassemblées dans les monts Ourals, les monts Altaï et la Daourie qui constituent les trois arrondissements de mines de la Sibérie, désignés sous les dénominations d'Ekatherinbourg, de Kolyvan et de Nertchinsk. La chaîne de l'Oural, qui forme la limite de l'Europe et de l'Asie, est le plus productif de ces districts; on y exploite l'or, le platine et de riches minerais de cuivre et de fer. Ces gîtes sont principalement situés sur le versant d'Asie, suivant une ligne qui commence à Ekatherinbourg et se continue jusqu'à 4 à 500 kilom. vers le nord. Les monts Altaï, qui séparent la Sibérie de la Tartarie, renferment les célèbres mines d'or et d'argent aurifère de Kolyvan et de Zmeof; ces mines paraissent, dans l'Altaï comme dans l'Oural, appartenir aux schistes de transition. La Daourie, contrée montueuse qui sépare le lac Baïkal de l'Océan oriental, renferme d'abondantes mines de galène argentifère contenues dans des calcaires métamorphiques.

Le lavage des sables aurifères prend chaque année de nouveaux développements en Russie et la production totale y est actuellement ainsi répartie :

Altaï.	Mines de la couronne.	2,129 kilogrammes.
	Mines des particuliers.	2,720
Oural.	Mines de la couronne.	320
	Mines des particuliers.	1,345
	Or extrait de l'argent aurifère.	448
	Total.	6,964

Presque tous les sables aurifères contiennent un peu de platine; mais ce métal est principalement concentré dans les sables de Nijni-Taguilsk, qui fournissent 1,978 kilogrammes sur environ 2000 produits par l'ensemble des lavages.

Le lavage des sables aurifères fournit presque tout l'or produit par la Russie. Dans l'Oural, la région des sables aurifères

s'étend du S.-O. au N.-E. sur une longueur de 50 kilom. environ, entre les rivières Atlian, Miass et Ouï. Les couches de ce sable sont assez ordinairement recouvertes par des couches stériles de quelques mètres d'épaisseur, consistant surtout en argile et en alluvions tourbeuses. Quant à leur composition, elles consistent en conglomérats composés de roches anciennes, telles que granites, syénites, gneiss, quartz et schistes, réunis par une argile ocreuse et un sable quartzeux. Les gros fragments sont triés et rejetés et toute la masse argileuse est passée sur des cribles formés de barres dont l'écartement est de deux centimètres au plus. Un dixième au moins, quelquefois le quart, et au plus la moitié de la masse, ne passe pas à travers le crible et en est rejeté. L'or se trouve disséminé en particules, en paillettes, filaments, en pépites arrondies et aplaties dans le sable argileux, qui sert ainsi de ciment aux roches de transport, et qui étant concentré par le lavage reste composé de quartz cristallin, de jaspe, de fer oligiste et de fer magnétique.

Ces sables aurifères ne sont pas continus; ils sont divisés par des saillies de roches encaissantes, en lambeaux allongés qui ont depuis 50 jusqu'à 500 mètres de longueur et lorsque, par exception, ils atteignent plusieurs kilomètres de longueur continue, ainsi que cela arrive dans les lits des ruisseaux de Miasta et de Tach-Koutargan, la teneur aurifère n'est pas homogène et les parties riches y forment des îlots isolés. La largeur est ordinairement comprise entre dix et soixante mètres, de telle sorte qu'il y a généralement proportion entre les deux dimensions. Enfin l'épaisseur est de 0,70 à 2 mètres.

Les sables aurifères occupent rarement toute la largeur des vallées; ils n'existent que dans la partie la plus basse ou thalweg, et s'amincissent à mesure qu'ils s'en éloignent.

La composition de ces sables démontre qu'ils doivent leurs principes métallifères à la destruction de gîtes en place. On trouve en effet dans la chaîne des gîtes en place, et les sables en contiennent non-seulement les minerais mais aussi les gangues. Ainsi, bien avant que l'or et le platine, concentrés

par les opérations du lavage, puissent être très-apparents, on reconnaît le fer oxydulé, la pyrite de fer, le fer chromaté, le rutile, l'anatase, la pyrite cuivreuse, et quelquefois même le cinabre et la galène. Outre les gangues de quartz cristallin, on trouve également de la dolomie, du spath manganésifère, de l'amphibole, de l'épidote, du grenat, du corindon, annexes constants des gîtes en place.

Ce sont donc les eaux diluviennes qui, par leur action érosive, ont désagrégé, roulé et broyé ces gangues, en ont isolé l'or, et ont rendu exploitables, sous cette nouvelle forme d'alluvions, des gîtes qui seraient restés sans valeur sous leur forme première.

Un seul de ces filons aurifères est en effet exploité; c'est celui de Berezof. L'or y est engagé dans un quartz chargé d'oxydes de fer et de pyrites; et souvent le groupement de ces trois substances est tel qu'on est conduit à penser que l'or, d'abord engagé dans les pyrites, n'a été isolé que par leur décomposition. On retire de cette mine environ 80 kilogrammes d'or par année.

Les ingénieurs russes ont fait des observations intéressantes sur le gisement de ces sables aurifères. Ils ont remarqué qu'ils reposaient rarement sur le granite ou sur la syénite, mais plus ordinairement sur les roches schisteuses, dans le voisinage des serpentines et des roches amphiboliques. Cette loi les a conduits a considérer l'or comme ayant son gisement principal dans le quartz ferrugineux des couches schisteuses métamorphiques, en relation de contact ou de voisinage avec les serpentines et les diorites. Quant à leur distribution géographique, les sables existent principalement sur les derniers versants, en forme de plateaux qui longent et terminent la chaîne; ils apparaissent donc, sous le double rapport de leur distribution et des matières constituantes, comme résultat d'un phénomène diluvien général qui a affecté l'ensemble de la contrée.

C'est en 1814 que furent découverts les sables aurifères de l'Oural, et ce fut en 1823 que l'exploitation prit quelque acti-

vité. Depuis cette époque jusqu'en 1836, on a lavé dans les divers arrondissements de l'Oural :

	Sables lavés.	Or obtenu.
Ekaterinbourg,	1,825,000 tonneaux.	5,872 kilog.
Goroblogodat,	273,000	632
Bogoslovsk,	860,000	5,318
Zlataoust,	3,376,000	10,059
Mines de particuliers,	18,245,000	37,056
	24,579,000	58,937

ce qui met la loi ou teneur des sables en or à :

0k,0327	Ekaterinbourg.	0k,0630	Bogoslovsk.
0 ,0235	Goroblogodat.	0 .0107	Zlataoust.

et pour les mines des particuliers à kil. 0,033 d'or par tonne de sable lavé.

Dans l'Altaï, les exploitations datent seulement de 1830. Jusqu'en 1835, on avait lavé 282,000 tonnes de sables qui avaient produit 676 kilogr. d'or, ce qui met la teneur à 0,0245 d'or par tonne.

Ces proportions ne s'appliquent qu'aux sables déjà criblés et préparés qui ont été transportés aux ateliers de lavage, et non à l'ensemble des roches abattues. La teneur véritable nous est donnée par le mouvement des ateliers de Miassk, qui opèrent sur des sables argileux dont toute la masse est à peu près soumise au lavage. Depuis 1823, la teneur ordinaire a été de 8 grammes par tonne, le minimum de la moyenne ayant été en 1833 de 4 grammes. En résumé les sables apportés contiennent depuis 17 grammes jusqu'au-dessous de 2 grammes par tonne; mais on considère cette dernière proportion comme ne donnant lieu à aucun bénéfice. Les ateliers de Miassk opèrent annuellement sur environ 210,000 tonnes, et en retirent au minimum 850 kilogrammes d'or.

Les monts Ourals renferment les principales mines de cuivre de la Russie, dont les plus productives sont celles de Tourinsk et de Nijni-Tagilsk. L'abondance des carbonates, des oxydes

de cuivre et du cuivre natif dans ces gîtes, donne aux produits de ces mines une pureté remarquable : on a trouvé, par exemple, à Nijni-Tagilsk un bloc de malachite pesant plus de 40 tonneaux. Comme gisement, il est à remarquer que les minerais de cuivre sont souvent au contact du calcaire et des trapps (mine de Bogoslovsk); ils appartiennent probablement à la classe des gîtes irréguliers et de contact.

Les mines d'argent et de plomb de l'Altaï paraissent, ainsi que les mines de cuivre, appartenir à la classe des gîtes de contact. Les principales, celles de Kolyvan, sont en effet représentées par les ingénieurs russes, comme des amas stratifiés, placés entre les couches métamorphiques et des porphyres qui les pénètrent. Les minerais des parties supérieures des gîtes sont des terres ocreuses, argentifères et aurifères, mélangées de carbonate de plomb, et, en s'approfondissant, ces substances sont remplacées par des sulfures : il en est de même des gîtes de cuivre, riches en carbonates, oxydes et cuivre natif vers les affleurements, et exclusivement composés de cuivre pyriteux ou panaché dans la partie inférieure. Il paraît même que ces gîtes s'appauvrissant très-souvent, les travaux ne sont poussés qu'à des profondeurs peu considérables, de sorte qu'on les a souvent regardés comme limités dans tous les sens et formant de véritables amas. Cette disposition apparente cache probablement dans plusieurs cas de véritables gîtes éruptifs.

Ainsi, le gîte de Zyrianofsk, le plus productif de l'arrondissement, nous est représenté comme enclavé dans des schistes talco-chloriteux : sa longueur en direction est de 160 mètres; sa puissance varie de 3 à 14; on l'a exploré jusqu'à 55 mètres. A sa base, ce gîte se divise en deux branches, et la roche qui les sépare est tellement cristalline qu'elle a l'apparence du porphyre. La masse du filon est composée de quartz servant de gangue dans la partie supérieure à des minerais ocreux, dans la partie inférieure à des minerais sulfureux; et en certains points, l'abondance de ces minerais est telle qu'ils éliminent complétement la gangue quartzeuse. La galène argentifère, les pyrites de

cuivre et de fer, le cuivre gris argentifère, la blende, sont les minerais sulfureux; le carbonate de plomb, les carbonates de cuivre, l'hydroxyde de fer constituent les minerais ocreux. Les minerais pénètrent quelquefois les schistes du toit et du mur qui sont alors exploités. Le niveau moyen de cette transformation des minerais est à environ 30 mètres des affleurements. Cette mine produit annuellement 6 à 7,000 tonnes de minerais qui rendent 8,000 quintaux métriques de plomb, 5,000 de cuivre, et 700 kilogr. d'argent.

Dans bon nombre de ces mines de Kolyvan, tous les minerais sont mélangés, et le mélange est quelquefois si intime que le triage en est impossible. Cependant les gîtes de cuivre ont une tendance à s'isoler des gîtes d'argent.

Les mines de plomb argentifère de l'arrondissement de Nertchinsk traversent des alternances de calcaires, de schistes et de grauwackes, et, comme en Angleterre, la distribution des minerais est tellement irrégulière que beaucoup de gîtes sont considérés comme épuisés. Ces mines ne produisent que 3 à 4,000 kilogr. d'argent, le complément du chiffre total, de 16,000 kil. étant fourni par les mines de l'Altaï.

Districts métallifères de la France

Si l'on applique à la constitution géologique de la France les principes généraux que nous avons énoncés sur la distribution des gîtes métallifères, on voit tout d'abord que ces gîtes ne peuvent être rationnellement cherchés que dans cinq districts composés de roches de transition et accidentés par les roches ignées des diverses périodes géognostiques. Ces cinq districts sont : 1° la *pointe de Bretagne*, limitée par une ligne qui part du Cotentin, passe près d'Alençon, d'Angers, et se termine vers Parthenay; 2° le *massif des Vosges*, s'élevant comme une île, au milieu des terrains sédimentaires; 3° le massif qui constitue le vaste *plateau de la France centrale*, et comprend l'Auvergne, le Limousin, le Forez, le Velay, le Vivarais, la Lozère et les Cé-

vennes; 4° la chaîne des *Pyrénées*; 5° Les *Alpes*. C'est en effet seulement dans ces contrées qui constituent les régions élevées de la France, et vers les contacts des roches granitiques et porphyriques, soit avec les roches schisteuses anciennes, soit avec les terrains secondaires métamorphiques et accidentés que se trouvent les gîtes connus jusqu'à présent.

L'importance de ces gîtes ne répond pas à l'étendue des cinq districts, non pas qu'ils soient rares ou peu puissants, mais parce que leur richesse est assez généralement au-dessous de celle des gîtes de même nature exploités dans les pays voisins. Néanmoins le développement de notre industrie a compensé en quelques points cette infériorité générale, et plusieurs mines ont pu résister aux concurrences extérieures. Nous entrerons donc dans quelques détails, non-seulement sur les gîtes actuellement exploités, mais aussi sur ceux qui nous semblent offrir quelques chances de reprise pour l'avenir.

Le massif de la *Bretagne* présente les plus grandes analogies de configuration et de composition avec le Cornwall. C'est de même une contrée montueuse, quoique généralement peu élevée au-dessus du niveau de la mer, composée de schistes de transition dont beaucoup se rapprochent du killas, accidentée par des granites, des porphyres analogues à l'elvan et des roches serpentineuses identiques à celles du cap Lisard. Malgré ces analogies de composition, les gîtes métallifères n'ont pas la même importance en Bretagne qu'en Cornwall, ainsi les filons d'étain et de cuivre n'existent plus et l'on n'y trouve que des gîtes de galène argentifère et de blende qui peuvent être assimilés à ceux qui existent en Cornwall à l'Est de Truro.

L'oxyde d'étain a cependant été signalé en deux points. Le premier est la côte de Pyriac, à deux lieues N.-O. de l'embouchure de la Loire. Le killas y est en contact avec le granite, et le contact des deux terrains est formé d'alternances de roches schisteuses et granitoïdes, que M. Dufrénoy désigne sous la dénomination de terrain de granite et gneiss. C'est cette formation qui contient l'oxyde d'étain, soit en petits rognons disséminés, soit

en petits filons à gangues de quartz : ce qui explique l'existence des sables stannifères que l'on trouve au nord de Pyriac, vers l'embouchure de la Vilaine, tandis qu'au sud, où la côte est exclusivement granitique, il n'en existe pas. Des recherches ont eu lieu sur cette côte en 1818, sans conduire à un gîte régulier et exploitable, quoiqu'elles aient produit environ 10 quintaux d'étain. Néanmoins M. Dufrénoy a justement remarqué que les recherches généralement dirigées trop du côté du granite et pas assez vers le killas, n'auraient pas dû être bornées à l'exploration des côtes. Sur un autre point, au moulin de la Villeder, près le roc Saint-André, dans le Morbihan, se montre un filon de quartz stannifère de 4 mètres de puissance, encaissé dans le granite. Sa direction N. 34 O. concorde assez bien avec la direction générale du Cornwall. Le quartz prend une teinte verdâtre dans les parties stannifères, il contient du fer arsenical, de la topaze et de l'émeraude. Ces deux gîtes, exploitables ou non, établissent d'une manière complète l'analogie géognostique des deux contrées. Dans la Bretagne, plus qu'en Cornwall, la généralité de la végétation est d'ailleurs un obstacle constant aux explorations et aux recherches de mines, et des découvertes ultérieures pourront peut-être avoir lieu.

La seconde époque métallifère du Cornwall, celle des filons cuprifères, ne paraît pas jusqu'à présent représentée en Bretagne, mais la troisième l'est sur une échelle assez large par des filons puissants, dont le minerai principal est la galène plus ou moins argentifère, et dont les minerais annexes sont : le plomb carbonaté et phosphaté, des terres ocreuses argentifères et la blende. Les plus riches de ces filons sont situés près de Morlaix, à Poullaouen et à Huelgoat, ils sont exploités par l'administration des mines, qui y a fait des travaux considérables. Le filon de Poullaouen, dirigé de N. 22° O. au S. 22° E., coupe les couches de grauwacke en plongeant de 45° vers le N.-E. ; sa direction a été suivie par les travaux souterrains sur une longueur de 1500 mètres, et son inclinaison, jusqu'à une profondeur verticale de 200 mètres. Ce filon est très-ramifié et on a suivi jus-

qu'à cinq de ses branches dont la puissance est de 3 à 5 mètres, la somme des écartements du terrain étant ainsi de 15 à 20 mètres. Les roches encaissantes sont en très-grande proportion dans le filon qui, en certains points, a l'apparence d'un filon en stockwerk. On a reconnu près de là quelques filons de composition analogue, et dans les schistes argileux d'Huelgoat, on exploite encore un filon puissant qui a été reconnu sur 1000 mètres de direction et 270 mètres de profondeur. Ce filon plonge de 70° vers le N.-E. et donne aujourd'hui des produits supérieurs à ceux de Poullaouen, car on y trouve non-seulement la galène argentifère, mais encore les terres rouges et ocreuses contenant $\frac{1}{1000}$ d'argent à l'état natif et à l'état de chlorure. Le produit annuel de ces mines est de 3000 quintaux métriques de plomb et 1400 kil. d'argent.

A Pontpéan, près Rennes, un filon contenant de la galène argentifère mélangée de blende, a été exploité jusqu'à la profondeur de 130 mètres, sur environ 300 mètres de direction. Ce filon, incliné à 80°, est dirigé N.-S. Vers la fin du XVIIIe siècle, il produisait année commune 7000 quintaux métriques de galène argentifère; la blende, en quantité supérieure à la galène, servait à remblayer les galeries : l'exploitation a été abandonnée à cause des difficultés que présentait l'épuisement des eaux. Il existe encore des filons de galène argentifère à Châtelaudren, près de St-Brieuc, ils ont été abandonnés depuis 1790 par suite d'un appauvrissement en profondeur. Quant aux autres gîtes plombifères connus sur bon nombre de points de cette vaste superficie de transition, il ne paraît pas qu'aucun d'eux ait assez d'importance pour donner lieu à quelque chance de reprise.

Les gîtes métallifères connus et non exploités dans ce premier district sont :

Manche. Mine de mercure au Menildot, commune de la Chapelle-en-Suger; elle a été exploitée à trois reprises dans le siècle dernier et a donné des produits notables de 1730 à 1742. Mines de galène argentifère, blende et calamine, sur plusieurs points de la Pointe du Cotentin, notamment à Pierreville, exploités de 1788 à 1790.

Loire-Inférieure. Mine d'étain à Pyriac, sur le bord de la mer. Recherches de 1819 à 1827.

Ille-et-Vilaine. Filon de galène argentifère et blende, cité à Pontpean. Abandon de la concession en 1796.

Côtes-du-Nord. Filons de galène argentifère à Châtelandren. Abandon de la concession en 1790.

Vendée. Mine d'antimoine à La Ramée, commune de Bonpère. La mine n'est pas épuisée, la renonciation du concessionnaire est de 1818.

Deux-Sèvres. Mines de galène argentifère à Melle et aux environs, il y existe d'immenses travaux dont la date n'est pas connue.

Le *massif des Vosges* est de tous les districts métallifères de France celui qui pourrait présenter plus de chances dans des travaux de reprise. Les gîtes de plomb argentifère, à la fois nombreux et puissants, y forment le trait principal de la richesse métallique. Ces gîtes, ouverts de temps immémorial, fournissaient encore des produits considérables dans le courant du siècle dernier; ils sont aujourd'hui presque tous abandonnés par suite de l'envahissement des eaux, et l'on ne pourrait y rentrer avec profit qu'après des dépenses assez considérables. Lors que la facilité des premières exploitations donnait lieu à de grands bénéfices, une partie de ces bénéfices placée chaque année en travaux de prévoyance, eût assuré l'avenir de ces mines, mais aujourd'hui presque toutes les exploitations de France n'existent plus que pour accuser le passé. Que l'on suppose ce district des Vosges, entre les mains des populations du Hartz ou de la Saxe, et sans aucun doute il eût été maintenu en exploitation, car leurs propres gîtes métallifères n'ont actuellement de valeur que par l'aménagement intelligent qui les soutient depuis des siècles.

Les environs de Sainte-Marie-aux-Mines renferment un grand nombre de filons, de galène argentifère, dont le principal est celui de Lacroix, célèbre par sa puissance, qui est de 20 mètres, et par des exploitations de plusieurs siècles poussées sur une étendue de plus d'une lieue. Ce filon de Lacroix-aux-Mines traverse la montagne de Saint-Jean à 4 lieues de Sainte-Marie; il court N.-S., inclinant un peu à l'Est, à peu près parallèlement à la jonction du gneiss et de la montagne de syénite qui le sépare des filons de Sainte-Marie. La masse du filon est princi-

palement formée de débris de toute espèce et le minerai y affectait des allures très-variables; tantôt disséminé en veines de m. 0,10 à 0,20 et jusqu'à 1 mètre de puissance, qui soudaient ces débris entre eux, les traversaient et formaient ainsi une sorte de stoewerk; d'autres fois, rassemblé en nœuds et en amas. Ce minerai consiste en galène argentifère, et plusieurs de ses annexes, tels que le phosphate de plomb, l'argent antimonié sulfuré, l'argent natif : la galène tenait en moyenne $\frac{1}{1000}$ d'argent. Les travaux réguliers suivis jusqu'à la limite de l'écoulement naturel des eaux par une galerie, n'ont été poussés qu'à une faible profondeur au-dessous des vallons voisins. Ce filon a eu des périodes extrêmement productives d'argent dans sa partie supérieure, où l'on a trouvé beaucoup d'argent natif; on en a cité des morceaux de 30 kil. et au delà. En 1756 il fournissait encore 12,000 quintaux métriques de plomb et 1,460 kil. d'argent.

Près de Sainte-Marie, les filons de galène argentifère sont moins puissants et plus nombreux; ils traversent les gneiss, et leur direction est E.-O., inclinant un peu au Nord. Deux d'entre eux ont été exploités sur une grande longueur, ce sont ceux de Surlatte et de l'Espérance. Le filon de Surlatte a présenté une bifurcation remarquable, en deux branches qui ont long-temps couru parallèlement et ont fini par se rejoindre. La galène y est moins riche qu'à Lacroix, les schlicks ne contenant guère que $\frac{1}{5000}$ d'argent.

Sur la croupe méridionale des Vosges, Gyromagny est un autre centre de filons métallifères qui ont été l'objet d'exploitations actives, exploitations qui ont été également poussées jusqu'à la limite d'extraction des eaux à bras d'homme. Les filons traversent, suivant la direction N.-S., des schistes argileux et des porphyres. A Saint-Jean-d'Auxel existe un faisceau de trois filons, courant l'un sur midi, le second vers onze heures, le troisième vers dix, dont la gangue est de quartz et de chaux carbonatée tenant de la galène argentifère disséminée. Les travaux étaient très-considérables en ce point, et étagés sur une hauteur de 800 mètres; ils étaient encore ouverts en 1779.

Les filons continuent à se montrer tant que les syénites, les porphyres et les terrains traversés par ces deux roches sont visibles. A Plancher-les-Mines, à Fresse, à Ternuay, dans la Haute-Saône on connaît dix filons à gangues de quartz, de chaux carbonatée, et de chaux fluatée, tenant, outre la galène argentifère, du cuivre gris et des pyrites. Ces minerais se rencontrent en amas et par bouillons et colonnes, disait Gensanne qui les a exploités en dernier.

L'ensemble du massif des Vosges présente, donc, deux systèmes de filons: l'un, dirigé N.-S., comprend les principaux filons de galène argentifère; l'autre, dirigé à peu près E.-O., comprend, outre des filons de galène, un grand nombre de filons à gangues de quartz, chaux carbonatée et spath fluor, et caractérisés, comme minerais, par le cuivre gris, la galène argentifère, l'argent sulfuré, le cobalt arsenical, l'arsenic natif et des pyrites quelquefois aurifères. Ces filons, dont le cuivre gris forme le trait caractéristique, sont liés aux mêmes roches que les premiers; il est à remarquer cependant que dans le groupe central, où les granites et les syénites dominent, les filons se rattachent plus ordinairement au premier système, tandis que vers la lisière des montagnes, là où les porphyres et les diorites se montrent prédominants, les filons cuprifères dominent ceux de galène. C'est ce qui a lieu pour les filons métallifères de Gyromagny.

La liaison fréquente de ces deux systèmes de filons paraît se rattacher à une presque contemporanéité des différentes émanations métallifères. Ainsi de même qu'à la limite de deux formations géognostiques différentes, on remarque très-souvent des alternances entre les couches caractéristiques de ces deux formations; de même on voit une sorte d'alternance et d'oscillation entre les filons de cuivre gris argentifère des Vosges et les filons de galène. Il existe donc des filons mixtes, tenant à la fois des proportions de cuivre gris et de galène, telles qu'on ne saurait dire auquel des deux systèmes il doit être assimilé de préférence. Les mêmes rapprochements existent entre

les roches cristallines liées à l'existence des filons métallifères, de telle sorte que les relations qui unissent entre eux les filons cuprifères et plombifères, se retrouvent entre les syénites porphyroïdes ou granitoïdes de Sainte-Marie, et les porphyres feldspathiques ou amphiboliques de Plancher-les-Mines, Ternuay, etc.

Le cuivre gris argentifère constitue, dans le district de Sainte-Marie-aux-Mines, le filon de Phaunoux, qui a été très-suivi en même temps que les filons de galène de Surlatte et de l'Espérance; le cuivre gris y était accompagné de cobalt arsenical et d'arsenic natif testacé dont on tirait également parti. Ce filon de Phaunoux fait partie de ceux qui suivent la direction E.-O., ainsi que les filons de Surlatte et de l'Espérance.

A Gyromagny, les filons de Selschaft, Saint-Martin, Sainte-Barbe et Saint-Urbain présentent de la mine à bocard composée de cuivre gris argentifère, sulfure d'argent et galène; cette mine à bocard ne se trouve que par bouillons, suivant l'expression de Gensanne. A la mine de Saint-Daniel, située au revers de la montagne d'Auxelle, du côté qui regarde Gyromagny, les schlicks rendaient au traitement, en 1780, 18 livres de cuivre, 3 et 4 onces d'argent et une petite quantité de plomb. Les montagnes qui séparent Plancher-les-Mines de Gyromagny, sont, entrelacées d'un nombre prodigieux de filons qui les traversent en tout sens et qui tous donnent du cuivre, du plomb et de l'argent; le minerai de plomb domine du côté de Gyromagny, tandis que le cuivre gris s'efface à Plancher-les-Mines.

Le massif des Vosges renferme encore un assez grand nombre de mines de fer dont le gisement se rapporte à la classe des gîtes particuliers. Le principal de ces gîtes est contenu dans la montagne de Framont, vers le contact d'une masse porphyrique centrale, avec les couches de schistes et de calcaire fortement relevées par cette masse. Dans cette position, le peroxyde rouge de fer, mélangé de fer olygiste cristallin, forme un véritable filon de contact de 5 à 10 mètres de puissance, dont la direction contourne le porphyre. En étudiant les profondes excavations qui ont été faites

dans ce gîte, on ne peut s'empêcher de le considérer comme une véritable cheminée d'émanations métallifères qui ont pénétré les roches en contact et se sont intercalées entre elles avec des phénomènes analogues à ceux que nous avons signalés à l'île d'Elbe. Pour compléter l'analogie, les calcaires traversés par le minerai sont transformés en marbres cristallins, et passent même aux dolomies grenues et cristallines.

En beaucoup d'autres points que ceux déjà mentionnés, le massif des Vosges contient des gîtes métallifères, et ceux qui pourraient être repris avec quelques chances de réussite, sont :

Moselle. Mines de plomb de Saint-Avoid. Communes de Saint-Avold, de Hargarten-aux-Mines et Falck. (Les travaux considérables auxquels ces mines ont anciennement donné lieu ont été repris quelque temps avant la révolution, et abandonnés faute de bénéfices. Les anciens travaux sont à sec et parfaitement conservés.)

Mines de cuivre. Commune de Longevilla. (On ignore l'époque de l'abandon. On y a fait, il y a quelques années, des recherches qui n'ont pas eu de suite.)

Mine de cuivre. Commune de Falck. (Abandonnée depuis long-temps.)

Bas-Rhin. Mine de cuivre et d'argent de la Goutte-du-Moulin. Commune d'Urbeis. (Abandonnée de temps immémorial.)

Mine de cuivre du château du Champ-Brècheté. Même commune. (Abandonnée de temps immémorial. Travaux fort étendus.)

Mine de cuivre et plomb des Coites. Même commune. (Abandonnée de temps immémorial. Travaux qui paraissent avoir eu peu d'extension.)

Mine de plomb de la Goutte-Henri. Même commune. (Abandonnée de temps immémorial. Reprise en 1780. Abandonnée deux ans après, faute de capitaux. Travaux peu étendus.)

Mine d'argent d'Aptaingoutte. Même commune. (Abandonnée depuis très-long-temps. Filon puissant mais très-pauvre.)

Mine de cuivre, plomb et argent de Saint-Nicolas. Même commune. (Abandon très-ancien. Reprise en 1780. Abandonnée deux ans après.)

Mine de plomb de La Chapelle. Même commune. (Abandon très-ancien. Reprise en 1780. Abandonnée deux ans après.)

Mine d'antimoine. Commune de Charpe. (Reprise et abandonnée plusieurs fois jusqu'en 1805.)

Mine de plomb et argent. Commune de Delaiaye.

Mine de plomb du chemin de Charpe. (Abandonnée, il y a environ trente ans, faute de capitaux.)

Mine de plomb et argent. Commune de Triembach. (Abandonnée de temps immémorial.)

Mine de manganèse. Même commune. (Abandonnée depuis environ vingt ans. Elle était exploitée par des paysans.)

Mine de cuivre et argent. Commune de Borsch. (Abandonnée de temps immémorial.)

Mine de plomb et argent. Commune d'Orschwiller. (L'époque de l'abandon est inconnue. Travaux peu étendus.)

Mine de plomb et argent de Jœgerthal. Commune de Niederbronn. (Ouverte et abandonnée à plusieurs reprises jusqu'en 1824.)

Vosges. Mines de cuivre. Commune de Bussang. (Une partie de ces mines est vierge, l'autre a été très-anciennement exploitée. On voit encore les vestiges d'une ancienne galerie d'écoulement.)

Mine de cuivre et argent. Commune de Tillot. (Exploitation longue et considérable qui a fini en 1761, faute de moyens d'épuisement. Susceptible d'être reprise, suivant les avis donnés en 1785 par plusieurs ingénieurs.)

Mine de plomb, cuivre et argent. Commune de Remement. (Exploitée fort anciennement pour le compte des ducs de Lorraine. On y a fait, en 1755, quelques recherches qui n'ont pas eu de suite.)

Mine de cuivre et argent. Commune de Lubine. (Les haldes annoncent une exploitation notable. L'abandon a eu lieu dans le milieu du siècle dernier.)

Mine de cuivre et argent. Commune de Fresse. (Abandonnée en 1734 à cause de l'abondance des eaux.)

Mine de plomb et cuivre. Commune de Fresse. (Abandonnée de temps immémorial.)

Mine de cuivre. Commune de Saint-Maurice. (Abandonnée en 1761, on en ignore la cause.)

Mine de plomb, zinc, cuivre et argent. Commune de Lusse. (Abandonnée de temps immémorial.)

Mine de plomb, cuivre et argent. Commune de Gernaingouttes. (Abandonnée de temps immémorial.)

Mine de cuivre et argent. Commune de Wildersbach. (Abandonnée de temps immémorial.)

Mine de cuivre du haut Perhenx. Même commune. (Abandonnée de temps immémorial.)

Mine de manganèse. Même commune. (Reprise il y a environ deux ans et abandonnée peu de temps après à cause de l'affluence des eaux.)

Haut-Rhin. Mines de cuivre, plomb et argent de Gyromagny, du Puits et d'Auxelle. Communes de Gyromagny, du Puits et d'Auxelle. (Elles offrent 43 filons. L'exploitation a eu trois époques très-florissantes, savoir : au XIVe siècle, au XVIe et au commencement du XVIIIe. L'abandon a eu lieu en 1791 par suite de travaux mal entendus et de dépenses étrangères à l'entreprise.)

Mines de cuivre, plomb et argent de la vallée de Saint-Amarin. Communes de Saint-Amarin, Orbé et Mosch. (Abandonnées en 1760. Anciennement productives. La plupart des travaux, étant en roche très-dure, sont conservés.)

Mines de plomb, cuivre et argent de Silberthal. Commune de Steinbach. (Abandonnée vers 1750.)

Mines de cuivre et argent de la vallée de Sultzmatt. Commune d'Osenbach. (Depuis très-long-temps abandonnées. Reprises en 1750, et abandonnées peu de temps après, faute de capitaux.)

Mine de cuivre et argent. Commune de Munster. (Abandonnée au commencement du XVIIIe siècle.)

Haute-Saône. Mines de plomb, cuivre et argent. Commune de Plancher-les-Mines. Elles se composent de sept filons qui ont été exploités long-temps avec bénéfice. (L'abandon a eu lieu en 1760.)

Mine de cuivre. Commune de Château-Lambert. (Abandonnée en 1758, par suite de travaux mal conçus. Elle avait été anciennement productive.)

Mine de plomb du Baudy. Commune de Château-Lambert. (L'époque de l'abandon est inconnue. On a voulu la reprendre, il y a une soixantaine d'années, au moyen d'une galerie d'écoulement qui n'a point été achevée, mais qui a été poussée très-avant.)

Mine de plomb. Commune de Faucogney. (Ouverte en 1755 et abandonnée quelques années après.)

Mine de plomb. Commune de Saint-Bresson. (L'époque de l'abandon est inconnue. Elle a été momentanément reprise il y a environ 70 ans.)

Mine de cuivre, plomb et argent. Communes de Tannay et de Vannes. (L'époque de l'abandon est inconnue. Elle a été momentanément reprise il y a environ 70 ans.)

Mine de manganèse de Chauvillerain. Commune de Faucogney. (Abandonnée il y a environ 20 ans.)

Le *plateau de la France centrale*, massif de terrain schisteux et granitique qui domine le centre de la France et comprend les montagnes du Forez, de l'Auvergne, des Cévennes et de la Lozère, renferme un très-grand nombre de filons de galène argentifère. Beaucoup de ces filons ont été exploités, et deux centres d'extraction subsistent encore, l'un à Pont-Gibaud, dans le département du Puy-de-Dôme, l'autre à Vialas et Villefort, dans le Gard.

Les principaux filons exploités autour de Pont-Gibaud, sont contenus dans un terrain de stéaschistes et de micaschistes; leur puissance moyenne est d'un mètre, et M. Fournet, qui a long-temps dirigé les travaux dont ils sont l'objet, a fait ressortir dans plusieurs mémoires leur direction N.-S., remarquable en ce qu'elle concorde avec la direction de tous les accidents du sol de la contrée. Ainsi le soulèvement granitique qui domine Clermont suit une direction N.-S., direction à laquelle sont également assujettis : les éruptions trachytiques qui forment le Cantal, les monts Dores et les monts Domitiques; les éruptions des volcans laviques qui forment la chaîne des Puys; puis enfin tous les filons métallifères de la contrée.

La série de ces filons, qui comprend aussi plusieurs époques, commence aux exploitations d'antimoine d'Engle, se continue par des filons cuprifères parallèles signalés par M. Fournet au pied de la montagne de Bauson, par les filons de galène argentifère qui ont été exploités à Roure, Rosier, Mioche, Blot-l'Église, et par ceux de Pranal, Barbecot, des Combres, etc., qui suivent également la même direction N.-S. Cette coïncidence de direction dans tous les modes d'accidentation du sol qui ont eu lieu à des époques diverses, soit par soulèvement, soit par émission de roches ignées, soit par cassures et émanations métallifères est un des faits les plus remarquables de la géologie de cette contrée.

Les filons de l'Auvergne présentent encore une association remarquable avec des porphyres identiques aux porphyres mé-

tallifères de tant d'autres régions. Ces porphyres se retrouvent constamment le long de la bande métallifère, ils traversent les granites et les schistes sous forme de dykes qui marchent avec les filons. Un des filons de Pranal a pour epontes, d'un côté le micaschiste, de l'autre le porphyre, fait qui indique l'antériorité de ces porphyres, qui sont en effet croisés plusieurs fois par les filons avec lesquels ils marchent.

Les filons de cette contrée ont pour gangue principale des débris du toit et du mur, des matières argileuses et le sulfate de baryte; la galène y est à petites facettes, et contient depuis $\frac{1}{3000}$ jusqu'à $\frac{1}{1000}$ d'argent. On y rencontre quelques substances subordonnées, telles que le plomb carbonaté et phosphaté, la blende, la bournonite.

Beaucoup d'autres filons de galène argentifère existent en Auvergne, et les montagnes d'Ambert, qui dominent à l'Ouest la petite vallée de la Dore, en renferment qui ont donné lieu à des travaux d'exploitation. A Saint-Amand-Roche-Savine, à Giroux, près Olliergue, les filons présentent une composition analogue à celle des filons de Pontgibaud; la galène y est un peu moins riche, mais elle est assez abondante, et les gangues sont d'un abattage facile. Plus au Sud, dans les montagnes qui dominent Jumeaux et dont le suc d'Esteil forme la cime principale, se trouvent un grand nombre de filons à gangue uniquement quartzeuse, souvent améthysée, tenant de la galène à facettes très-fines qui rend jusqu'à $\frac{1}{600}$ d'argent. Mais cette galène est extrêmement disséminée, et la dureté du quartz en rend l'exploitation très-coûteuse.

Les mines de Vialas et Villefort comprennent douze filons dont les directions différentes annoncent plusieurs époques de formation. Ces filons se trouvent réunis en faisceau au contact de gneiss et du granite, et l'ensemble du terrain métallifère fait partie du manteau de gneiss et micaschiste qui entoure les sommités granitiques du mont Lozère. Les gangues des filons sont le quartz, la chaux carbonatée et la baryte sulfatée; la galène argentifère y est disséminée en rognons, mélangée de pyrite cuivreuse et

de blende. La fonderie de Villefort ne fournit guère aujourd'hui que 400 kil. d'argent et au plus 1000 quintaux de plomb ou litharge.

Dans l'ensemble de la contrée, la classe des filons antimonifères paraît très-distincte par son âge et sa composition. Elle est représentée par des filons à gangues quartzeuses, dont la puissance dépasse rarement un mètre et dans lesquels le sulfure d'antimoine se montre seul comme minerai. Ces filons s'isolent en outre par des directions et des inclinaisons spéciales. Leur composition est simple; le minerai y est accumulé en veines, nodules cristallins, druses, etc. plutôt que disséminé, et les minerais associés, qui sont d'ordinaire des oxydes d'antimoine, paraissent y résulter d'épigenies et de transports moléculaires postérieurs à leur formation.

Les filons des Cévennes se trouvent presque toujours dans le terrain de gneiss et de schiste qui recouvre les masses granitiques formant les points culminants de la contrée. C'est vers ses contacts avec les roches ignées que le terrain schisteux devient métallifère; ce fait déjà signalé pour le groupe des filons de galène de Vialas et Villefort, existe également pour les filons antimonifères qui se montrent à Malbosc et Bordezac (Ardèche). Ces filons sont composés de quartz, quelquefois ils contiennent de la chaux carbonatée, rarement du sulfate de baryte; leurs salbandes sont d'argile. Ils se dirigent à peu près E.-O., inclinant de 25° à l'Est. L'antimoine sulfuré s'y montre en veines compactes ou filets suivis, ayant moyennement m. 0,10 d'épaisseur : cette épaisseur est variable dans le même filon, et elle atteint, dans un des trois qui sont exploités, jusqu'à m. 0,30. On y trouve aussi l'antimoine sulfuré par taches fibreuses, rayonnées.

Deux espèces de filons tendent encore à s'isoler sur quelques points du plateau central : ce sont d'abord quelques petits filons d'étain existant à Vaulry, près Limoges, et à Ségur, dans la Corrèze; en second lieu, des filons blendeux, dont le gisement le plus important est dans le département du Gard, près

du hameau de Clairac. On y a reconnu les affleurements de trois filons parallèles courant à peu près N.-S. et traversant verticalement, sur une longueur de plus de 1000 mètres, les couches du lias métamorphisé jusqu'à une distance de 40 à 50 mètres du toit et du mur.

Les gîtes de contact ont eu sur quelques points une importance plus grande que celle des filons. Ces gîtes de contact ont pour siége principal les arkoses et les couches marneuses qui appartiennent au lias. Les mines de Chessy, aujourd'hui épuisées, étaient ouvertes sur un gîte placé au contact du granite et de ce terrain de lias : ce plan de contact contenait des amas de pyrite cuivreuse, de cuivre carbonaté et oxydé, dont l'exploitation a été des plus avantageuses. Les amas de manganèse oxydé de Romanèche sont dans une position géognostique analogue, et les petits amas de galène, calamine ou blende, qui existent dans les calcaires magnésiens du lias aux environs de Figeac, Villefranche, Lardin, appartiennent aussi à cette classe de gîtes. Enfin, le chrôme oxydé, disséminé dans les arkoses des Écouchets, en est encore un exemple intéressant.

Les mines connues pour avoir été exploitées dans cette région, et dont la reprise serait possible, sont :

Côte-d'Or. Mine de plomb argentifère. Commune d'Aligny. (Exploitée très-anciennement ; a été l'objet de quelques tentatives en 1734 et en 1742. On y voyait encore, en 1774, une galerie très étendue.)

Nièvre. Mines de plomb argentifère. Commune de Chitry-les-Mines. (Ces mines ont donné lieu à l'une des plus considérables exploitations de France. Découvertes en 1493, leur extraction a été abandonnée vers le milieu du XVII[e] siècle. Leur existence et leur grande importance sont attestées par dix édits, enregistrés, pour la plupart, au parlement de Paris, dont le premier date de 1493 et le dernier de 1699.)

Mine de plomb. Commune de Saint-Reverien. (On ignore si ce gîte a été exploité anciennement. Quelques recherches ont été faites il y a quelques années.)

Mine de plomb et argent. Commune de Saint-Didier. (Abandonnée depuis fort longtemps. Elle a été exploitée dans le même temps que les mines de Chitry.)

Indices de mine de plomb argentifère. Commune de Frauchy. (Découverts vers 1775. On y a fait, en 1785, quelques travaux qui donnaient des espérances.)

Mine de plomb de Ganaez. Communes de Glux et Saint-Prix. (Découverte en 1782. On y a fait alors des travaux.)

Mine de plomb de Crieur. Commune d'Aunay. (Époque de l'abandon, inconnue.)

Mine de cuivre et plomb. Commune de Montceau. (Abandonnée depuis très-long-temps. Son existence est principalement attestée par des scories très-riches en cuivre et en plomb.)

Saône-et-Loire. Mine de plomb. Commune d'Oyé. (Plusieurs filons sur lesquels il a été fait quelques recherches peu suivies il y a un certain nombre d'années.)

Mine de plomb. Commune de Gueugnon. (On y a fait quelques recherches il y a environ 45 ans.)

Mines de plomb. Commune de Saint-Christophe.

Mine de plomb. Commune de Saint-Prix. (Découverte en 1782. Quelques travaux de recherches abandonnés peu de temps après.)

Mine de chrome oxydé vert des Ecouchets. Commune de Saint-Pierre-de-Varennes. (A été l'objet de quelques travaux d'extraction qui ont duré pendant plusieurs années et qui ont fini en 1813.)

Allier. Mines d'antimoine. Commune de Bresnay. (Exploitées et abandonnées dans le cours du siècle dernier.)

Mines d'antimoine. Commune du Jardinet. (Exploitées et abandonnées dans le cours du siècle dernier.)

Mine d'antimoine. Commune de la Petite-Marche. (Depuis long-temps abandonnée. On croit que l'abandon ne tient point à son épuisement.)

Mine de plomb. Commune de Nizerolle.

Puy-de-Dôme. Mine de plomb argentifère. Saurière près d'Issoire. (Époque de l'abandon inconnue. On y fait des recherches.)

Mine de plomb. Saint-Amand-Roche-Savine près d'Ambert.

Mine de fer. A Compains. (Abandonnée il y a environ un siècle faute de bois.)

Mines de plomb. Youx et Masboutin, près de Montaigu. (Exploitées vers 1730, reprises vers 1775, et abandonnées, faute de capitaux, quelques années après.)

Rhône. Mines de plomb de Boussière et de Vaietier. Communes de Tarare et de Joux. (Travaillées et successivement abandonnées en 1748, en 1813 et en 1819.)

Mine de plomb. Commune de Bressieu. (Abandonnée en 1776 à cause de la rareté des produits.)

Mine de plomb. Commune de Propières. (Exploitée anciennement; reprise il y a un certain nombre d'années et abandonnée peu de temps après.)

Mine de plomb. Commune de Chasselay. (Abandonnée en 1780.)

Mines de plomb du Fenoyl, de la Fouillouse, de Chambost, de La Tour, de Sainte-Paule, d'Etra. Communes des Halles, de Juliennes, de Chambost, de La Tour-Salvagny, de Sainte-Paule, d'Etra.

Mine de plomb de la Maison-Blanche. Commune de Vaugneray. (Quelques recherches furent faites il y a douze ans.)

Mine de plomb de Chaponost. Commune de Chaponost. (Quelques recherches furent faites il y a douze ans.)

Mine de plomb de Dizinieu. Commune de Louges. (L'existence d'un puits atteste qu'on y a fait anciennement des recherches.)

Mine de cuivre sulfuré. Commune de Chavayzoles. (La compagnie des mines de Chessy et Saint-Bel y a fait anciennement des recherches qui ont été abandonnées en 1784.)

Vienne. Mine de plomb. Près de Sanxais. (L'époque de l'abandon est inconnue. On n'a fait qu'effleurer la tête des filons.)

Mine de plomb. Près le Vigean. (On ignore l'époque de l'abandon. La tradition porte que les recettes n'ont pas couvert les dépenses.)

Haute-Vienne. Mine de plomb un peu argentifère. Communes de Glanges, de Saint-Genêt et de Vie. (Exploitée avec des chances diverses depuis 1724 jusqu'à la révolution.)

Mines d'antimoine. Communes de Coussac-Bonneval et de Ginndon, arrondissement de Saint-Yriex. (Abandonnées en 1812 après avoir été irrégulièrement exploitées pendant cinquante ans.)

Mine d'étain. A Vaulry. Exploitée par les anciens. (L'administration y a fait exécuter des recherches à plusieurs reprises, depuis 1819.)

Corrèze. Mine de cuivre carbonaté vert et bleu, mélangé de sulfure de cuivre et de cuivre rouge. Montagne des Forges, commune de Lonignac. (Quelques recherches ont été faites en 1823 et abandonnées à cause de l'irrégularité du gîte.)

Indice de mine d'étain. A Ségur. (Trouvé il y a 50 ans.)

Mine de plomb. A Mercœur. (D'anciens renseignements parlent de cette mine comme renfermant plusieurs filons. Dans le cours de la révolution elle a été l'objet d'une demande en concession qui n'a pas eu de suite.)

Mine de plomb. Commune de Moustier-Ventadour. (Paraît avoir été abandonnée un peu avant 1765, à cause de la mauvaise exploitation et de la modicité du produit.)

Gard. Sables et terres aurifères. Aux environs de Saint-Ambroise et de Malbosc, dans le lit de la Cèze et de la Gagnère, dans celui de plusieurs ruisseaux affluents, ainsi que dans une partie des terrains cultivés qui forment les bassins de ces deux rivières. (La cueillette de la poudre d'or, anciennement très-productive, n'est plus pratiquée que par quelques paysans.)

Mines d'antimoine. Près de Sessous. (Des travaux ont été ouverts il y a quelques années et abandonnés faute de produits suffisants.)

Mine d'Antimoine de Coignas et Latrau. Commune de Portes. (Abandonnée en 1824 après plusieurs années d'exploitation. Minerai peu abondant et de médiocre qualité.)

Mine de plomb et argent. Commune de Laval. (Il existe un immense tas de déblais sur le terrain.)

Lozère. Mines de plomb et argent de Saint-Sauveur. Communes de Meyruels et Gatuzières (Lozère), et Saint-Sauveur (Gard). (Exploitées très-anciennement; reprises en 1775 sur un grand pied; abandonnées en 1789. Renonciation à la concession le 13 mai 1822. Ces mines sont décrites dans le tome 8 des *Annales des Mines*, page 474 et suivantes. Elles se composent d'un grand nombre de filons en général bien réglés.)

Mine d'antimoine de Térailion. Commune de Saint-Mart'n-de-Loubaux. (Abandonnée depuis peu de temps à cause de la pauvreté du gîte.)

Mine de plomb. Commune de Saint-Michel-de-Dèze. (On ignore l'époque et la cause de l'abandon.)

Mine de plomb. Commune de Cassagnas. (L'époque de l'abandon est inconnue. Un bocard et des restes de bâtiments indiquent une exploitation d'une certaine importance.)

Dordogne. Mine de plomb. Commune de Nontron. (Des tentatives d'exploitation faites à différentes époques, et dont la dernière a eu lieu en 1823, n'ont eu aucune suite.)

Mine de plomb. Commune de Saint-Martin. (Dans une tentative faite en 1824, on a dépensé environ 4,000 francs. La recette a été d'environ 700 francs.)

Indices de mine d'antimoine. Commune du Grand-Jumiliac.

Mine de manganèse. Commune de Milhac de Nontron. (Fouilles à ciel ouvert, abandonnées depuis quelques années.)

Indices de mine de manganèse. Commune d'Eyzerat. (On n'y a encore fait aucun travail.)

Indices de mine de manganèse de Valajoux. Commune de Montignac. (Ce gîte découvert il y a plusieurs années n'a pas encore été exploré.)

La *chaîne des Pyrénées* n'offre que de faibles ressources en filons métallifères, mais il y existe un grand nombre de gîtes de fer oxydé ou de fer spathique qui alimentent les forges catalanes.

Le plus important de ces gîtes est celui de Rancié, près Vicdessos, qui entretient à lui seul environ 60 foyers catalans, et est exploité depuis plus de 600 ans. Le terrain qui le contient

est composé de calcaire blanc saccharoïde, de calcaires gris plus ou moins cristallins, et d'argile schisteuse. L'ensemble de ces couches, longtemps regardé comme appartenant au terrain de transition, a été placé par M. Dufrénoy dans la partie inférieure de la formation jurassique. Il s'y trouve en effet sur quelques points des bélemnites, des térébratules et des entroques qui caractérisent les marnes supérieures du lias.

Les couches de la montagne de Rancié sont verticales, et l'une d'elles est tellement pénétrée d'hématite brune accompagnée d'hématite rouge, de fer spathique et quelquefois d'oxyde de manganèse, que le minerai de fer peut y être considéré comme roche dominante. En effet, non-seulement le calcaire est imprégné d'oxyde de fer de manière à être souvent tout à fait masqué, mais un grand nombre de veines sont remplies d'oxyde pur; on y trouve, comme dans les filons, des druses cristallines, des cavités tapissées de couches concentriques d'hématites brune et rouge. Cette couche a été reconnue depuis la cime de la montagne jusqu'à sa base, sur une hauteur de 600 mètres, on n'en connaît pas la limite inférieure. La puissance moyenne est de 20 mètres, elle va jusqu'à 40 dans les renflements, et est quelquefois étranglée à 4 mètres. Ce beau gîte métallifère doit être regardé comme un stocwerk, plutôt que comme une couche isolée; sa disposition parallèle à la stratification du terrain l'a fait long-temps considérer comme de formation contemporaine, mais les observations de M. Dufrénoy ne permettent plus de douter qu'il ne soit postérieur au terrain encaissant. Sa formation se trouve ainsi liée aux épanchements granitiques qui ont contribué au relief du sol, et qui, en beaucoup de points, ont transformé les couches calcaires en marbres et en dolomies.

La masse du Canigou présente la génération des gîtes de fer sur une échelle encore plus grande. Cette masse granitique a percé au milieu des terrains stratifiés, et la zone ellipsoïde, d'environ 16 kilom. de diamètre, suivant laquelle a lieu le contact des deux espèces de roches, renferme des gîtes nombreux de fer carbonaté spathique et de fer oxydé. Telle est la loi de

groupement des mines de Batère, de Rocas-Negros, de la Droguère, d'Olette, de Fillols, de Vellestavia, Saint-Martin, etc., qui forment des amas, veines ou filons, tous coordonnés d'après ce principe.

Il y a peu de chose à dire sur les autres gîtes métallifères des Pyrénées; les plus remarquables sont : les mines de cuivre de Baygorry, dans le département des Basses-Pyrénées, et celles de plomb argentifère d'Aulus, dans la vallée d'Erce, département de l'Ariége. Ces mines ont été abandonnées après avoir été ouvertes à plusieurs reprises, et les principaux gîtes connus, pour être dans le même cas, sont, indépendamment d'un grand nombre de gîtes de fer oxydé ou spathique :

Aude. Mines de cuivre de la Canalo, de Pech-Egute, de Sainte-Marie, etc. Commune de Maisons. (Abandonnées vers 1750 après un assez grand développement des travaux souterrains.)

Mine de cuivre. Communes de Lanct et de Bouysse. (Travaux de reconnaissance à plusieurs époques; les derniers datent de 40 ans.)

Mine de cuivre antimonial et argentifère de Feugerolle. Commune de Quintillan. (Anciennement exploitée, reprise en 1782. Abandonnée en 1793.)

Mine de plomb argentifère de Rocas-Negros. Commune des Bains de Rennes. (L'époque et la cause de l'abandon sont inconnues.)

Mine de plomb. Commune de Mont-Gaillard. L'époque et la cause de l'abandon sont inconnues.)

Mine d'antimoine. Commune de Quintillan. (Abandonnée en 1805 par suite de la rareté du minerai.)

Mine d'antimoine de las Corbos. Commune de Maisons. (Exploitation suspendue depuis 1823.)

Mine de manganèse de Villerambert. Commune de Cannes. (Abandonnée vers 1802 faute de débit.)

Hérault. Mine de cuivre. Commune de Vieussau. (Abandonnée il y a deux siècles; reprise en 1780 et abandonnée presque aussitôt sans motifs connus.)

Indices de mine de plomb argentifère. Riols, près de Saint-Pons. (Ils consistent en un beau filon découvert il y a peu d'années, sur lequel il n'a été fait aucun travail, et que les rapports signalent comme devant être productif.)

Mine de cuivre. Commune de Boussagues. (L'époque de l'abandon est inconnue. On y a fait des travaux souterrains considérables.)

Mine de plomb de la montagne de Caroux. A Colombières. (La cause et l'époque de l'abandon sont inconnues.)

Mine de plomb argentifère de la Maloio et du Pradel. Communes de Mourcairol et de Villemagne. (La cause et l'époque de l'abandon sont inconnues. L'étendue des anciens travaux atteste une grande et longue exploitation. Quelques travaux de reconnaissance ouverts il y a trente ans n'ont point eu de suite.)

Arriège. Mine de plomb argentifère. Commune d'Aulus, canton d'Oust. (Plusieurs gîtes voisins les uns des autres ont été superficiellement exploités dans des temps très-reculés. Il y a eu une reprise mal administrée et mal conduite sous le rapport de l'art il y

a environ un demi-siècle. Il paraît qu'on a méconnu le principal minerai, qui est un carbonate de plomb argentifère, tantôt solide et tantôt terreux. Des rapports circonstanciés annoncent que ces mines peuvent donner lieu à une exploitation.)

Sables et terres au lfères. Environs de Pamiers, principalement dans le lit des ruisseaux de Benagues-Ferriès, Gros-Milly, Trebans, Pailhès, etc., etc., et dans un grand nombre de terrains cultivés qui font partie des bassins de ces ruisseaux.

Bassins et lits des ruisseaux de la Béouze et de Tallol, entre Feix et Saint-Girons.

Bassins et lits des ruisseaux do Nert et du Salat, dans les environs de Saint-Girons.

(Avant la découverte de l'Amérique, la cueillette de la poudre d'or dans l'Ariége donnait lieu à une industrie importante et qui datait de temps immémorial. Les orpailleurs étaient tenus de livrer l'or à un prix déterminé à la Monnaie de Toulouse, mais il y avait souvent contrebande. Depuis 1500, cette industrie a successivement diminué. Vers la fin du seizième siècle, la quantité d'or portée annuellement à la Monnaie de Toulouse ne s'est plus élevée au-dessus de deux cents marcs. De 1750 à 1762, le bureau de Pamiers n'a reçu en tout que quatre-vingts marcs. Aujourd'hui, la cueillette n'occupe plus que quelques paysans Elle a été autrefois l'objet d'un grand nombre d'arrêts, d'édits et de règlements. Les principaux sont ceux des 14 mai 1472, 18 octobre 1481 et 9 novembre 1751. L'or est à un très-haut titre. Ces gîtes sont décrits par Réaumur, *Mémoires de l'Académie royale des sciences*, année 1718; par Guettard, *id.*, année 1761; et par Dietrich, *Description des gîtes de minerais de France*, tome 1er.

Haute-Garonne. Mine de plomb et argent. Sur la montagne d'Uls, commune de Melles (Abandonnée en 1824, les produits ne couvrant pas la dépense.)

Tarn. Mine de plomb. Brassac. (Découverte en 1790; a été peu de temps après l'objet de quelques travaux qui ont produit 5 à 6000 kilogrammes d'alquifoux et qui n'ont pas eu de suite. Elle est décrite, *Journal des Mines*, tome 28.)

Mine de cuivre de Rosières. Carmeaux. (Abandonnée de temps immémorial; a été l'objet de travaux considérables dont une partie est encore accessible. Elle est décrite, *Journal des Mines*, tome 28.)

Les seuls gîtes actuellement exploités dans les *Alpes françaises* sont les amas de fer spathique, gîtes de contact qui se trouvent entre la vallée de la Romanche et celle de l'Arc. Les mines les plus productives de ce groupe sont celles des environs d'Allevard.

La vallée de l'Oisans présente cependant de véritables filons qui ont été exploités. Le petit filon de La Gardette, composé de quartz contenant de la pyrite de fer et de l'or natif, est remarquable par sa régularité : sa puissance n'est que de m. 0,40 et il a été suivi sur plus de 300 mètres. Le gisement le plus intéressant de ce district, celui qui a donné lieu aux travaux les plus développés est le gîte d'Allemont, situé dans la montagne des Chalanches, à 2 myriamètres Est de Grenoble. Cette montagne est composée de schistes talqueux et amphiboliques, enclavant des couches calcaires, et surmontant des granites qui en forment la base.

Des galeries furent ouvertes à 2100 mètres de hauteur dans un filon très-irrégulier, ou plutôt dans une série de cavités et de fissures traversant une roche quartzeuse micacée qui fait partie du terrain schisteux dont les couches inclinent au S.-O. Ces gîtes sont irréguliers comme l'allure du terrain, et la marche de leurs accidents porte à croire qu'ils ont été produits par les causes qui ont accidenté les Alpes françaises, c'est-à-dire postérieurement au terrain jurassique dont les assises ont été si violemment disloquées et si profondément altérées.

La gangue du gîte est argileuse et variée par cette multitude de substances qui caractérisent les montagnes de l'Oisans et ornent les collections minéralogiques. Ce sont la chaux carbonatée dont on a trouvé treize variétés, la chaux carbonatée manganésifère, la chaux sulfatée, la baryte sulfatée, le quartz hyalin, enfumé ou laiteux, le jaspe, plusieurs variétés de grenat, le feldspath, l'axinite, l'épidote, l'actinote, l'asbeste, le talc, la chlorite. Tous ces minéraux servent de gangues à l'argent natif, à l'argent sulfuré accompagné d'un grand nombre de substances métallifères, telles que la galène argentifère, le cobalt gris, le cobalt arséniaté et arsenical argentifère, le nickel arsenical, l'arsenic, l'antimoine natif, le cuivre sulfuré, le cuivre carbonaté, le cuivre gris, l'oxyde de manganèse, enfin le mercure sulfuré et natif.

Les autres gîtes sur lesquels on peut appeler l'attention sont :

Hautes-Alpes. Mine de plomb. A Lapierre. (Abandonnée depuis 80 ans comme trop pauvre.)

Mine de plomb. A l'Argentière. (Abandonnée depuis 40 ans environ comme trop pauvre.)

Mine de cuivre. Aux Aeles. (Abandonnée depuis 40 ans comme trop pauvre.)

Var. Minières de fer chromaté de Gassin. (Terrain en partie concédé et en partie non concédé), sur la plage de Cavalaire. (Non encore abandonnées, mais à la veille de l'être, par l'effet de la concurrence du fer chromaté de Baltimore, Etats-Unis d'Amérique.)

Mine de plomb argentifère. A Cogolin. (Seulement explorée, abandonnée depuis 2 ans à raison du peu d'abondance du minerai.)

Indices de mines de plomb et zinc sulfurés tenant cuivre et argent. A Lagarde-Frainet. (N'ont jamais été exploités ni explorés.)

Indices de mine de plomb argentifère. A Montali près Grimaud. (N'ont jamais été exploités ni explorés.)

Indices de mine de plomb argentifère. A la Gambade. (N'ont jamais été exploités ni explorés.)

Indices de mine de plomb. Près de Gassin. (Ont été l'objet de quelques travaux de reconnaissance.)

Autres indices analogues dans un rayon d'un à deux myriamètres autour de Saint-Tropez, notamment près du bois Noir. (Ceux-ci ont été reconnus par quelques fouilles.)

Mine de plomb argentifère avec cuivre et fer. Au lieu dit les Ameniers. (Explorée en 1823, abandonnée depuis lors.)

Mine de plomb. Commune du Canet du Luc. (L'époque de l'abandon est inconnue.)

Indice de mines de cuivre pyriteux. Au Luc. (On ne croit pas que ce gisement ait encore été attaqué.)

Indices de cuivre carbonaté. Entre Hières, Sollies et Toulon. (Point encore explorés. Minerai disséminé dans des grès bigarrés.)

Indices de mine de graphite (plombagine). A une demi-lieue du plan de La Tour. (Il ne paraît pas qu'il y ait en des recherches faites sur ces indices.)

Indices de graphite. A Ramatuelle, au sud de Gassin.)

Basses-Alpes. Mines de plomb. Commune de Saint-Geniez-de-Dromont. (Non exploitées depuis 1788.)

Mine de plomb argentifère. Commune de Curban, au pied de la montagne Aujarde. (On y a fait des tentatives d'exploitation en 1718, en 1770, en 1783, et définitivement en 1785. Elle a été abandonnée vers 1790, probablement à cause de l'appauvrissement du gîte.)

Mine de plomb argentifère. Commune de Piégn, hameau de Nairac. (On y a fait des tentatives d'exploitation en 1718, en 1770, en 1783, et définitivement en 1785. Elle a été abandonnée vers 1790, probablement à cause de l'appauvrissement du gîte.)

Mine de plomb de la Malune. Entre les vallées du Verdon et de Barcelonnette. (Découverte en 1762. Exploitée en 1766, reprise vers 1788, et abandonnée peu de temps après à raison du peu d'abondance des produits.)

Indices de plomb. Près de Colmars, partie supérieure de la vallée du Verdon. (Il y a eu des travaux de recherche qui ont fourni de beaux échantillons de minerai.)

Isère. Mine d'argent des Chalanches, près d'Allemont. Commune d'Allemont. (Découverte et exploitée en 1768, abandonnée depuis 1815 par suite de la mort du concessionnaire et de ses mauvaises affaires dans d'autres entreprises. Malgré de grandes et fâcheuses vicissitudes administratives et l'exiguïté de la mise de fonds, l'exploitation, qui a duré quarante-six ans, a produit 42,525 marcs d'argent. La recette totale a été de 2,296,367 francs. La dépense totale a été de 2,415,317 francs. Déficit de 115,650 francs. Ce déficit provient des vingt-trois dernières années, la dépense annuelle [31,000 francs terme moyen] ayant été constamment trop faible pour donner un développement suffisant aux travaux souterrains. Tous les rapports s'accordent sur les avantages de la reprise de cette mine, pourvu qu'on y appliqua des capitaux suffisants.)

Mines de plomb. Vizille et Vaulnaveye. (Abandonnées depuis quinze à vingt ans comme trop pauvres.)

Mines de plomb. Sechilienne et Saint-Barthélemy. (L'époque de l'abandon est inconnue. On présume qu'elles sont pauvres.)

Mines de plomb argentifère. Huez et lieux environnants. (Abandonnées à une époque inconnue et très-ancienne, probablement à cause de leur pauvreté.)

Mine d'or de La Gardette. Commune de Villard-Eymont, près du bourg d'Oisans. (Recherches suivies de quelques tentatives d'exploitation, au commencement de 1700, en 1733, en 1765 et en 1770. Exploitation faible de 1781 à 1787, pendant laquelle on a dépensé 27,371 francs. La recette en or et en cristaux de roche a été de 8,000 francs. Cette mine a été reprise en 1837, elle est décrite dans le *Journal des Mines*, tome 20, page 103.)

Districts métallifères de l'Autriche.

C'est principalement dans le Tyrol, la Bohême et la Hongrie que se trouvent les mines des États autrichiens. L'Autriche est celui de tous les États européens qui produit la plus grande quantité d'or et d'argent, les mines de la Russie étant presque toutes situées en Asie. L'étude de cette production présente donc quelque intérêt non-seulement à cause du gisement, mais sous le point de vue de l'exploitation.

A Bockstein, dans le Salzbourg, à Zell en Tyrol, on exploite des filons à gangue de quartz avec schiste argileux provenant des débris du toit et du mur, qui contiennent de la pyrite aurifère, du mispiekel argentifère, du cuivre gris argentifère et de l'argent sulfuré. On est arrivé à retirer avec avantage l'or de minerais qui n'en contiennent que de 0,000015 à 0,000006, et même encore au-dessous. Ainsi à Zell, de 50,000 quintaux de minerai, on retire année commune 35 marcs d'or, c'est-à-dire que la teneur moyenne n'est que de 0,000004. L'argent contenu dans ces minerais est de six à sept fois la teneur de l'or, c'est-à-dire dans la proportion de 0,000025.

Cette loi ou teneur des minerais aurifères et argentifères du Tyrol doit être remarquée ; elle fera apprécier, lorsque nous citerons les circonstances de gisement et de richesse des minerais des Amériques, tout ce que l'art de l'exploitant a dû faire dans ce pays pour rendre possible l'extraction de quantités si minimes.

L'Autriche possède une partie des mines de la Bohême, situées sur le versant méridional de l'Erzgebirge. Ces mines, outre les métaux ordinaires, livrent au commerce une quantité considérable de smalt de cobalt (2,000 quintaux) et d'arsenic blanc. Cette partie de la Bohême alimente aussi cinquante hauts-fourneaux, mais le siége principal de la production du fer est la Moravie, la Styrie et la Carinthie; cette dernière province produit en outre une quantité considérable de plomb extrait de gîtes irréguliers qui existent dans la montagne de Bleyberg. L'importance de

ces divers districts de mines peut être appréciée par les chiffres de leurs produits annuels :

	Fer, quint.	Cuivre, quint.	Or, marcs.	Argent, marcs.	Plomb, quint.
Bohême.	60,000	150	»	20,000	14,000
Moravie.	35,000	»	»	»	»
Styrie.	250,000	»	»	»	»
Carinthie.	150,000	150	»	»	30,000
Salzbourg.	9,000	»	120	800	»
Tyrol.	8,000	700	35	»	»

Le mercure produit par l'Autriche est entièrement dû au gîte de cinabre d'Idria en Carniole.

Dans la Hongrie comme dans le Tyrol, le gisement des minerais d'argent paraît se confondre avec celui des minerais d'or. Schemnitz et Kremnitz sont le centre du district de la Basse-Hongrie, le plus riche de tous; la Haute-Hongrie forme un second district, comprenant les établissements de Schmolnitz et Arandjydka; le troisième est la contrée de Kapnick et de Nagy-Bania, sur la frontière de Transylvanie; le Bannat, voisin de la Turquie, forme le quatrième : tous fournissent des minerais cuivreux argentifères.

Le gisement de ces minerais est en filons puissants mais peu continus, assez généralement parallèles entre eux, coupant le terrain encaissant sous des angles de 40 à 55 degrés, et s'intercalant quelquefois entre les plans de stratification des couches. Le terrain encaissant se compose de porphyres souvent amphiboliques, liés à des syénites qui passent au granite. Les gneiss, micaschistes et calcaires semblent subordonnés aux roches ignées, tant celles-ci acquièrent de puissance.

Les filons de Schemnitz ont rarement au-dessous de 6 à 8 mètres, et atteignent en quelques points jusqu'à 40 mètres de puissance. Les gangues sont : des quartz drusiques, cariés, ferrugineux; de la chaux carbonatée ferrifère; du sulfate de baryte; quelquefois de la chaux fluatée.

Les minerais disséminés dans ces gangues sont : de l'argent sulfuré mélangé d'argent natif et d'une quantité variable d'or; du cuivre gris, du carbonate de manganèse, de la galène argen-

tifère, de la blende, des pyrites de cuivre et de fer. Toutes ces substances se trouvent isolées ou mélangées en toutes proportions, de manière à fournir des minerais dont la richesse varie depuis 60 pour cent d'argent jusqu'au titre le plus pauvre. L'or accompagne l'argent dans une proportion variable, mais qui le plus souvent approche de $\frac{1}{15}$.

Les filons de Kremnitz peuvent être assimilés aux précédents; on a seulement signalé, dans les gangues, une prédominance plus notable du quartz, et dans les minerais une plus grande proportion d'or et la présence de l'antimoine sulfuré. Les filons de Kapnick renferment plus de chaux fluatée que ceux des autres localités; ils contiennent en outre de l'arsenic sulfuré rouge.

Les principales exploitations sont groupées autour de la ville de Schemnitz, et sont desservies par des machines à colonne d'eau d'une puissance et d'une exécution remarquables. Dans ces usines, qui sont exploitées par le gouvernement autrichien, on a commencé, il y a plus de cinquante ans, le travail souterrain le plus gigantesque : c'est une galerie d'écoulement, dite de Joseph II, qui a son embouchure aux bords de la Gran, et se dirige par les mines de Hodritz vers celles de Schemnitz. Sa longueur sera de 16,000 mètres; elle ne sera terminée que dans dix ans et est destinée au service des exploitations actuelles et à la recherche de filons nouveaux. La production de ces quatre districts, qui forment la principale richesse minérale de l'Autriche, est actuellement :

Or.	4,000 marcs.	Argent.	75,000 marcs.
Cuivre.	50,000 quintaux.	Plomb.	20,000 quintaux.
Mercure.	150 »	Fer.	250,000 »
Antimoine.	6,000 »	Cobalt.	5,000 »

Suède et Norvége.

Le vaste massif scandinave, qui constitue la Suède et la Norvége est en majeure partie composé de terrains schisteux et de calcaires de transition accidentés par des granites, des porphyres et des roches amphiboliques. Les gîtes métallifères sont très-mul-

tipliés et ils auraient plus d'importance encore si les exploitations n'étaient entravées par la difficulté des transports.

Les roches amphiboliques paraissent avoir été en Scandinavie comme en Toscane le principal véhicule des émanations métallifères; elles y servent souvent de gangues aux minerais de cuivre et de fer. Ainsi la production du cuivre est due en grande partie au célèbre gîte de Falhun en Dalécarlie; c'est un amas vertical et allongé de fer sulfuré, se ramifiant dans des roches amphiboliques qui l'accompagnent, et qui même lui servent de gangue ainsi que le quartz. La surface extérieure de cet amas, découvert sur une distance de 400 mètres, est mélangée de pyrite cuivreuse, but de l'exploitation établie aujourd'hui à une profondeur de 350 mètres : ce minerai ne contient en moyenne que 2 ½ à 3 pour cent de cuivre. Il existe en Norvége d'autres gîtes analogues à celui de Falhun, mais leur position est très-défavorable à cause de la difficulté des transports. Une compagnie anglaise en a longtemps exploité un près du cap Nord malgré l'intensité du froid.

Cette partie de l'Europe est une des plus riches en minerai de fer, dont l'état minéralogique est presque toujours l'oxydule. M. Élie de Beaumont a fait remarquer que tous ces gîtes étaient disposés suivant une zone qui traverse la contrée, depuis le lac Onega jusqu'à l'angle S.-O. de la Norvége. Suivant cette longueur, les gîtes de fer oxydulé sont constamment accompagnés des roches amphiboliques qui, dans beaucoup de cas, leur servent de gangues. Dans la montagne de Taberg, près Jonkoping, une masse de fer oxydulé est enclavée dans l'amphibole, mélangée avec elle, et ce mélange paraît avoir constitué, comme en Toscane, une véritable roche éruptive. L'amphibole est encore l'annexe caractéristique des minerais de cobalt de Tunaberg et des pyrites magnétiques qui les accompagnent.

Les mines de plomb et argent représentent une génération métallifère très-distincte et leur gisement doit être rapporté aux filons; telles sont les mines de Sahla et celles de Kongsberg, mentionnées dans le chapitre précédent.

Districts de l'Espagne.

En 1820, l'Espagne, qui avait été autrefois une des sources principales des produits métalliques, n'avait absolument que les célèbres mines métalliques d'Almaden et des mines de fer exploitées en Biscaye et quelques autres provinces. Le monopole d'exploitation que s'était réservé le gouvernement était pour beaucoup dans cette apathie, et l'abolition de ce monopole encouragea la production. Dès l'année 1826, plus de 3,600 puits d'extraction fournissaient des minerais de plomb dans les Sierra de Lujar et de Gador; en 1827 il y fut produit 374,000 quintaux métriques de plomb.

Le succès obtenu dans les Alpujarras fut suivi d'une impulsion rapide donnée à l'exploitation des mines; et l'Espagne eut peut-être recouvré une partie de son ancienne prospérité, si de nouveaux troubles n'eussent arrêté le progrès de l'industrie. Les anciennes mines de cuivre de Rio-Tinto ont été reprises; dans la partie orientale de la Manche on exploite les puissants dépôts de calamine d'Alcaraz; les mines de plomb et de cuivre de Linarès (Jaen), celles de Falsete (Catalogne), ont été mises en extraction; enfin on a exploité la houille, jusqu'alors négligée, aux environs d'Oviedo, dans les Asturies, sur le bord de la rivière d'Avilès, et à la Villa-nueva-del-Rio à 30 kilom. au-dessus de Séville.

Les mines de mercure d'Almaden et les mines de plomb de la Sierra-Gador sont les plus riches exploitations de l'Espagne. Les mines d'Almaden, situées dans la province de la Manche, étaient déjà ouvertes du temps des Romains; elles fournissent aujourd'hui 1,029,300 kilog. de mercure. Le cinabre y constitue plusieurs filons, dont le principal atteint jusqu'à 12 et 15 mètres de puissance, sans que le minerai soit mélangé de roches hétérogènes. Cette puissance est encore plus considérable dans les croisements : aussi, malgré l'exploitation active dont ce gîte est l'objet de temps immémorial, les travaux ne sont encore

qu'à 300 mètres de profondeur. Le rendement du minerai est de 10 pour cent de mercure. Les filons s'étendent de l'Est à l'Ouest sur une longueur de deux myriamètres, depuis Chillon jusqu'au delà d'Almadenejos, où se trouvent également des mines en exploitation.

La province de l'Estramadure, une partie de celle de la Manche et du nord de l'Andalousie constituent un district métallifère où se trouvent concentrées, avec les mines d'Almaden, la plus grande partie des mines de l'Espagne. Les célèbres mines de Guadanacal, Cazalla, Rio-Tinto, Linarès se trouvent, ainsi que les mines d'Almaden, dans un terrain de transition composé de schistes et de calcaires, accidentés par des granites, et M. Leplay a été frappé des analogies qui existent entre cette contrée et celle du Hartz.

Quant aux mines de plomb, elles sont renfermées dans les montagnes des Alpujarras les plus rapprochées de la mer et paraissent avoir la plus grande analogie, du moins quant à leur forme, avec celles du Cumberland et du Derbyshire. La Sierra-Gador, montagne qui renferme les plus riches, est composée de couches calcaires associées à des schistes et des roches cristallines : la galène, disséminée en veines et en rognons, y est quelquefois si abondante, que la masse des terrains semble une brèche de galène à pâte calcaire. Il est rare qu'un puits ne rencontre pas le minerai avant la profondeur de 100 mètres, tant les gîtes sont rapprochés.

Districts de la Prusse.

Le trait le plus remarquable de la richesse métallifère de la Prusse est une petite couche de schiste marno-bitumineux compris dans la formation du zechstein. Cette couche est métallifère, et a reçu la dénomination de *kupfer schiefer*. Bien que sa puissance moyenne ne dépasse pas m. 0,40 à m. 0,60, la couche du kupfer schiefer se soutient sous la surface de la Thuringe avec une constance remarquable dans ses caractères géologiques et minéralogiques, qu'elle soit d'ailleurs horizontale, inclinée ou coupée

par des failles. Les travaux d'exploitation ont surtout été développés aux environs d'Eisleben, Gerlstadt et Sangerhausen; on y extrait toute l'épaisseur de la couche de schiste dans lequel se trouve disséminé en veinules et en particules, un cuivre gris un peu argentifère. Par quintal de kupferschiefer on obient en moyenne 2,10 de cuivre. On extrait également l'argent. Les produits, qui se sont élevés jusqu'a 8,000 quintaux métriques de cuivre et 3,000 kilogr. d'argent en 1806, ne sont guère aujourd'hui que de 4,000 quintaux de cuivre et 1,700 kilogr. d'argent.

Cette couche métallifère est parfaitement stratifiée et présente un exemple remarquable des sédiments dont le métamorphisme et le dépôt sont contemporains. La seule hypothèse probable, par laquelle on puisse rattacher cette couche à la généralité des gîtes métallifères, est d'admettre que les émanations ont été produites dans les eaux qui déposaient les principes terreux; il est à remarquer que presque tous les calcaires qui accompagnent le kupfer schiefer sont à l'état dolomitique.

La Silésie est le second district métallifère de la Prusse. Les minerais s'y trouvent non-seulement dans les montagnes du Riesenbebirge, de l'Eulengebirge et des Sudètes qui en forment les hautes régions, mais aussi dans la partie basse aux environs de Tarnowitz, point sur lequel une couche calcaire se montre très-souvent métallifère et contient des amas nombreux de plomb sulfuré, de fer oxydé et de zinc oxydé; l'un de ces minerais est toujours le principe dominant. Les mines de plomb les plus suivies dans cette couche s'étendent de Georgenberg à Benthen : les mines de fer s'étendent surtout au N.-E. de Tarnowitz : les mines de zinc sont réparties au S.-E. de Tarnowitz et près de Scharley sur une longueur de 11 kilom. et une largeur de 7.

La mine de plomb de Tarnowitz produit 20,000 quintaux métriques de minerai qui donnent à la fonte 19,000 quintaux de plomb et 1,500 marcs d'argent. Les mines de zinc sont très-variables dans leur production, qui peut être évaluée à 10,000 quintaux de zinc provenant de 40,000 quintaux de minerai.

La production du fer en Silésie est à peu près toute celle de la Prusse.

Quelques gîtes sont encore exploités dans le Hundsruck et les provinces rhénanes. Dans une couche de micaschiste dirigée E.-O. de Voigtdorf à Raspenau, sur une longueur de plus de 40 kilom. se trouvent des gîtes d'étain et de cobalt. Enfin, près de Silberberg, Kuferberg et Rudelstadt, les terrains de transition sont traversés par un assez grand nombre de filons de galène et de cuivre gris argentifère.

Districts de la Confédération germanique.

Les districts métallifères de la Confédération germanique ont été le berceau et le soutien de l'art des mines en Europe. Si elles n'ont pas d'importance par les chiffres de production, elles en ont donc beaucoup sous le double rapport de l'étude des gîtes et de l'exploitation. Les mines d'étain de la Saxe ont surtout excité l'attention par les circonstances variées de leur gisement.

Ces mines d'étain sont concentrées dans la chaîne de l'Erzgebirge, montagnes qui séparent la Saxe de la Bohême. Le terrain de ce district se compose de gneiss, micaschistes, hyalomicte ou quartz schistoïde, et schiste argileux, traversés par des dykes de granites, syénites et porphyres qui coupent la stratification des couches, et dont les masses puissantes forment les sommités principales. C'est dans ce terrain schisteux et quelquefois même dans les granites et les porphyres, que se trouvent les gîtes métallifères qui font la richesse de la contrée.

On peut distinguer en Saxe quatre classes de gisement ou manière d'être de l'oxyde d'étain : 1° en stocwerks composés de veines ou de petits amas, dans certaines parties des masses de granite et de porphyre ; 2° disséminé dans des couches du terrain schisteux qu'il a pénétrées avec les substances annexes qui lui servent de gangues, telles que le quartz, la tourmaline et la chlorite ; 3° formant de véritables filons ou fentes faites et rem-

plies postérieurement à la formation du terrain qui les encaisse; 4° en alluvions stannifères, dans les vallées où l'action des eaux diluviennes a miné des gisements préexistants sous les formes déjà citées et accumulé des masses considérables de débris.

Le stocwerk de Zinnwald, dont une galerie est représentée fig. 17, se compose d'une masse hémisphérique de granite à gros grains. Cette masse est divisée en zones qui suivent la courbe convexe de sa surface extérieure, et sept de ces zones, de m. 0,30 de puissance, sont en partie composées d'étain oxydé. Ces zones de granite, qui semblent résulter d'une espèce de liquation par refroidissement, sont coupées par de petits filons verticaux, de chaque côté desquels les zones éprouvent des rejets assez considérables, ainsi que l'indique la fig. 17; ces filons verticaux sont stériles. Ce gîte est évidemment contemporain du granite dont il fait partie. La masse de granite stannifère est comprise dans un terrain de porphyre auquel s'arrêtent les zones de minerais.

Le stocwerk de Geyer est également dans le granite; mais les veines stannifères n'y affectent réellement aucune disposition régulière, et sont à la fois verticales et horizontales. Quant à celui d'Altenberg, il présente encore un caractère différent. C'est une masse de porphyre grisâtre, quartzifère, d'environ 400 mètres de longueur sur une largeur de 200 à 300 mètres. Cette roche est traversée dans toutes les directions par de petits filons onduleux; dans toute sa masse la roche est stannifère, mais elle l'est surtout dans les petits filons et dans leurs points de croisement, et plus la roche est quartzifère, plus elle est riche en étain. Dans une partie de son périmètre le porphyre passe soit au granite, soit à la syénite; mais alors les veines, tout en continuant d'être visibles, s'appauvrissent, et c'est seulement lorsque la roche reprend sa première nature de porphyre gris quartzifère, que le minerai reparaît.

Il est difficile de voir dans toutes ces variations autre chose que des gîtes contemporains d'une roche ignée dont la nature varie et dans laquelle la présence du minerai d'étain est liée à cer-

tains caractères minéralogiques qui eux-mêmes ne sont pas constants d'un gîte à l'autre. Cette contemporanéité, qui range l'étain parmi les principes constituants des roches éruptives, est un fait qu'on peut assimiler aux éruptions des amphiboles cuprifères et ferrifères de l'Italie et de la Scandinavie.

Les autres manières d'être des gîtes stannifères en Saxe ne présentent rien de particulier : ce sont, comme dans les autres districts, les gîtes les plus anciens; les gangues y sont caractérisées d'une manière assez remarquable par le quartz, la chlorite, la tourmaline et la topaze.

Le gneiss est la roche la plus essentiellement métallifère de la chaîne de l'Erzgebirge; les filons s'y trouvent en plus grand nombre que partout ailleurs. Ces filons constituent plusieurs systèmes distincts par leur composition et par leur direction; de nombreuses mines de plomb, argent, cuivre et cobalt sont ouvertes aux environs de Freyberg, d'Ehrenfriedersdof, de Johangeorgenstadt, d'Annaberg et de Schneeberg. Sur le versant méridional, sont les filons de la Bohême qui courent dans des terrains identiques et sont principalement concentrés autour de Joachimstal, Bleystadt, Catherinberg, Kupferberg. Nous avons déjà mentionné la production de la Bohême; en Saxe, il y a environ 500 mines ouvertes, exploitées par 15,000 ouvriers, et produisant annuellement :

Argent.	65,000 marcs.	Cuivre.	12,000 quintaux.
Plomb.	12,000 quintaux.	Cobalt.	4,500 »
Étain.	3,500 »	Fer.	100,000 »

Le *Hartz*, district non moins intéressant que la Saxe sous le rapport de l'exploitation, est un groupe montueux, ellipsoïdal, composé de terrain de transition, et surgissant comme un îlot au milieu des terrains stratifiés de l'Allemagne septentrionale. Son grand axe, dirigé N.-N.-E., n'a que sept myriamètres de longueur. Le Brocken, point central et culminant, est une masse granitique qui domine toute la contrée; sa base est entourée de gneiss et de schistes argileux auxquels succèdent des alternances

de grauwackes et de calcaires. Dans cette contrée, de 12 myriamètres carrés, 60,000 habitants n'ont d'autre profession que l'exploitation des filons de plomb, argent et cuivre, qui forment la seule richesse du pays ; les villes principales du Hartz, Clausthal, Andreasberg, Altenau, Zellerfeld et Lauthenthal rappellent toutes des gisements métallifères célèbres et des travaux plus célèbres encore. Ainsi, la grande galerie d'écoulement destinée au service des mines de plomb et argent de Clausthal a 10,580 mètres de longueur et passe à 288 mètres au-dessous de l'église; son percement a duré vingt-trois ans et a coûté 1,650,000 francs. Le filon argentifère le Samson, à Andreasberg, a été excavé jusqu'à près de 600 mètres. La mine de cuivre du Rammelsberg, ouverte en 968 près Goslar, est la première des temps modernes. Enfin la contrée présente encore d'abondantes ressources en mines de fer qui alimentent des forges importantes. Le Hartz verse annuellement dans le commerce :

Plomb.	60,000 quintaux.	Cuivre.	1,700 quintaux.
Argent.	35,000 marcs.	Fer.	400,000 »

Les conditions principales de la production européenne se trouvent suffisamment expliquées par cette rapide description de ses districts métallifères. Dans toutes ces exploitations les gîtes sont tous conformes aux lois générales de composition et de gisement établies dans le chapitre précédent, et cette conformité pourra encore être appréciée par la description des principaux éléments de la production des Amériques.

Districts métallifères de l'Amérique méridionale.

L'Amérique méridionale, cette contrée à laquelle les phénomènes volcaniques ont imprimé une si grande unité de constitution, nous présente également les gîtes métallifères, et surtout ceux des minerais d'or et d'argent, sur une échelle des plus vastes. Dans la chaîne des Cordillères, cette récente formation de minerais domine toutes les autres formations métallifères, de même que

les trachytes et les volcans modernes ont dominé tous les caractères de constitution physique et géognostique imprimés à la contrée dans les périodes précédentes.

Le développement des minerais argentifères a en effet d'autant plus masqué les autres formations de minerais, que la plupart des gîtes métallifères dont les conditions seraient analogues à celles de l'Europe sont complétement inexploitables dans ce pays où les travaux de mines sont entravés à la fois par le prix élevé de la main-d'œuvre, les difficultés des transports et l'absence de combustible. On ne peut guère exploiter avec succès en Amérique que les métaux précieux, fàciles à traiter par l'amalgamation ou du moins dont la réduction exige peu de combustible, dont le transport est peu coûteux comparativement à leur valeur, ou dont le prestige a peut-être facilité l'exploitation en appelant les capitaux par l'espoir d'un bénéfice immédiat. On a donc laissé de côté, dans la plupart des cas, les oxydes d'étain, les pyrites cuivreuses, les galènes, les cuivres gris, dont les gîtes sont aussi bien représentés dans les Cordillères que dans la plupart des districts métallifères de l'Europe; et l'on s'est occupé exclusivement de l'or, du platine, et surtout des nombreux minerais d'argent qui constituent des gîtes si puissants et si multipliés.

Les mines des Andes Cordillères produisent d'ailleurs beaucoup moins par la richesse des minerais que par l'abondance et la puissance des gîtes, et les facilités qu'on trouve dans l'extraction et l'abattage. Sous ce rapport de richesse, il n'y a aucune différence réelle entre les minerais du Nouveau-Monde et ceux de l'Europe; mais par leur grand développement les formations de métaux précieux s'y présentent mieux définies et plus complétement caractérisées.

Ainsi l'or et les minerais d'argent, qui, dans les filons de Transylvanie, semblaient représenter une seule formation métallifère, en forment deux très-distinctes dans l'Amérique méridionale. Les montagnes du Brésil peuvent être regardées comme constituant le type de la formation aurifère, tandis que

les Andes du Mexique et du Chili présentent celui de la formation argentifère : ces deux formations sont réunies quoique encore distinctes dans les Andes du Pérou. Nous laisserons de côté les gîtes des métaux anciens, bien qu'en beaucoup de points ils présentent de l'importance, parce qu'ils ne nous apprendraient aucun fait nouveau. Bornons-nous à mentionner le cinabre exploité à Juan Cavelica et les riches mines de cuivre de la vallée de Coquimbo, au Chili, dont les minerais, presque aussi variés que ceux de Chessy, sont en majeure partie transportés en Angleterre pour y être traités.

Les roches ignées pourraient sans aucun doute fournir, dans les districts métallifères de l'Amérique méridionale, comme dans ceux de l'Europe, de précieuses indications pour caractériser et classer les gîtes métallifères. M. de Humboldt a signalé le premier la liaison qui existe entre les deux séries de phénomènes et a désigné sous le nom de porphyres métallifères les porphyres qui accompagnent constamment les gîtes de minerais ; il a de plus indiqué des différences d'âge essentielles dans la série de ces porphyres, distinguant des porphyres non métallifères anciens qui diffèrent des autres par leurs caractères minéralogiques ; et signalant surtout une liaison intime entre les porphyres qui accompagnent ordinairement les mines d'argent, et les trachytes qui leur sont superposés. M. Domeyko, dans un mémoire récent sur le Chili, a fait ressortir la distinction qui existe entre les roches granitoïdes, liées aux gîtes aurifères, formant les régions les plus basses des côtes occidentales et les roches porphyroïdes, porphyres feldspathiques ou quartzifères, diorites, eurites, etc., plus directement en relation avec les minerais de cuivre, tels que les cuivres natifs, carbonatés, sulfurés, chlorurés de Coquimbo, les cuivres gris argentifères, enfin les argents natifs, ou amalgamés, l'argent sulfuré, l'argent rouge et chloruré qui terminent la série. Il est évident qu'il reste encore à établir des distinctions d'âge et de caractères entre les divers termes de cette série porphyrique, de même qu'entre les termes successifs de la série métallifère. L'existence certaine de ces lois d'apparition succes-

sive et parallèle des divers termes des deux séries, ressortira suffisamment de la description des mines principales, et nous tâcherons de signaler les distinctions minéralogiques qui pourront servir à les établir par la suite.

Les minerais d argent sont souvent aurifères et indiquent ainsi une liaison réelle entre les minerais des deux espèces; mais l'or n'y apparaît que comme annexe et en très-faible quantité. Dans tous les filons des Cordillères où la pyrite de fer est mélangée de blende, galène, cuivre sulfuré, cuivre gris argentifère, sulfure d'argent, argent natif, l'argent est le minéral caractéristique; mais les mêmes contrées renferment de véritables gîtes de minerais d'or, où ce métal est isolé de l'argent.

La pyrite de fer est le minerai principal de ces gîtes, car les gangues de l'or, de même que celles de l'argent, sont en partie métallifères; le fer hydraté, également très-fréquent, paraît ne devoir son origine qu'à la décomposition de pyrites préexistantes. La blende, le sulfure d'antimoine sont aussi exploités en plusieurs points comme minerais aurifères. Ces minerais aurifères ont eux-mêmes le quartz pour gangue; quant à la forme de leur gisement elle paraît entièrement se rapporter aux filons. Dans les mines de Marmato, par exemple, sur le versant du Rio-Cauca, on extrait l'or de pyrites qui constituent des filons puissants, nombreux, bien réglés et tous dirigés E.-O. L'or s'y trouve en particules quelquefois visibles à l'œil nu; mais, le plus souvent, non seulement on ne distingue pas l'or, mais encore les essais chimiques en révèlent à peine des traces. M. Boussingault rapporte que l'on trouve accidentellement, en brisant les pyrites, des groupes de cristaux d'or qui pèsent plusieurs onces, mais que ce métal y est inégalement disséminé, très-peu abondant et que le travail n'est productif qu'en raison de l'abondance des pyrites et de leur extraction facile. Sa proportion, dans la pyrite pure, paraît comprise entre $\frac{1}{5000}$ et $\frac{7}{5000}$.

Le terrain des pyrites aurifères appartient à la formation de porphyres et diorites métallifères des mines de la province d'Antioquia; c'est de la destruction de gîtes analogues que ré-

sultent les alluvions aurifères connues en un grand nombre de points. Ces alluvions situées vers la base des Cordillères, sont souvent très-difficiles à exploiter par suite du manque d'eau et n'entrent réellement pas dans la production en proportion de leur importance.

C'est surtout au Brésil que la formation des minerais aurifères apparaît à l'exclusion de toute autre.

Brésil. Province de Minas Geraes.

Les mines du Brésil sont concentrées principalement dans la province de Minas, dont la constitution géologique présente des particularités remarquables. Cette contrée très-montagneuse est principalement composée de terrains de transition, ou du moins présumés tels, dont les couches sont généralement accidentées mais beaucoup moins inclinées que dans les chaînes de montagnes dont les axes sont formés par des roches cristallines. Les roches éruptives n'apparaissent en effet qu'en dykes ou en monticules isolés, elles semblent plutôt avoir pénétré le terrain, en avoir métamorphisé l'ensemble et l'avoir accidenté en détail, plutôt que l'avoir soulevé en masse et par une de ces grandes révolutions qui impriment aux contrées cette unité de constitution physique qu'on remarque dans les Cordillères et dans toutes les grandes chaînes. Cette partie du Brésil paraît appartenir à des soulèvements plus anciens que celui des Andes, et son épaisseur semble avoir été soumise à une action générale et prolongée de la part des roches éruptives qui en ont modifié toutes les roches constituantes. Les points culminants du centre s'élèvent à 1,800 mètres environ et sont encore formés de roches stratifiées; c'est seulement dans les vallées, dans les nombreuses déchirures que présente cette contrée fortement ondulée, qu'on voit la succession des couches et les roches ignées qui les pénètrent, roches dont la présence souterraine se fait surtout remarquer par le faciès métamorphique des terrains stratifiés, et leur propriété presqu'universellement métallifère, sans que les gîtes y affectent les formes définies de filons ou de stocwerks.

Les terrains qui constituent la contrée sont, à partir de la base, le gneiss qui forme la partie inférieure des vallées les plus profondes, et les quartz stratifiés, parmi lesquels le quartz chloriteux (itacolumite) atteint des puissances énormes. Ces roches quartzeuses, très-fréquentes au Brésil, forment en quelque sorte par leur développement inusité, un des traits distinctifs de la composition du pays; elles paraissent appartenir à des grès métamorphiques et forment diverses séries d'alternances avec des micaschistes, des stéaschistes blanchâtres ou rougeâtres et des schistes argileux. Dans les régions supérieures, ces roches quartzeuses se pénétrent en beaucoup de points de fer oligiste et constituent les roches que l'on a appelées itabirite et yacotinga, suivant qu'elles sont grenues ou compactes; enfin, la série se termine par de véritables grès à éléments fragmentaires qui forment les points culminants de la province de Minas.

Cette série est, ainsi que nous l'avons dit, ordinairement accidentée dans sa stratification, mais pas à un tel point que dans la plupart des vallées on ne voie de chaque côté la série des alternances à des niveaux à peu près correspondants. Accidentellement les roches ignées, composées de granites à grains fins et de porphyres amphiboliques, apparaissent en dykes et sont accompagnées de quartz en filons.

Le caractère le plus saillant et le plus intéressant de l'ensemble des roches stratifiées, c'est que toutes sont métallifères. Il semble que la masse entière ait été soumise à une action de pénétration générale; ces principes métallifères deviennent quelquefois tellement dominants, qu'ils ont masqué en quelque sorte le caractère premier des roches. Le quartz a surtout une grande aptitude à se pénétrer des éléments métalliques.

Le métal le plus ordinaire est le fer, à l'état de fer oligiste, d'autrefois à l'état de pyrite aurifère; viennent ensuite l'oxyde ou le carbonate de manganèse et l'or natif.

La généralité de dispersion de l'or est telle que, dans certains pays de mines, une roche stratifiée quelconque broyée et lavée, fournit de l'or. Enfin l'or est concentré en plusieurs

points dans ces mêmes roches, surtout lorsqu'elles sont chargées de fer oligiste et de manganèse, il y forme même des gîtes de contact, qui ont pu être exploités directement par travaux souterrains.

A Gongo-Socco, à Villarica, à Moroveilio, à Taquary, on exploite ainsi, pour l'or qu'elle contient, la roche dite *Yacotinga*, jaspe rougeâtre, schisteux, dont les feuillets sont enduits de fer oligiste. On exploite également le grès manganésifère et en quelques points, à Taquary par exemple, des schistes blancs talqueux et des schistes argileux ardoisiers en contact avec l'yacotinga; ces schistes contiennent l'or intercalé en feuillets dans les plans de stratification et en rameaux cristallins dans certaines fissures. Le carbonate de manganèse est du reste le meilleur guide pour cette recherche directe de l'or. Rien n'est plus variable que la proportion d'or que contiennent ces roches; souvent une journée seule compense des travaux restés stériles pendant des semaines. En 1837, la compagnie impériale de Gongo-Socco, qui est la principale, a extrait 18,000 tonnes de minerai, qui ont produit 700 kilog. d'or; ce qui ne fait que $\frac{1}{26000}$ pour la teneur moyenne du gîte, c'est-à-dire environ 100 grammes d'or par mètre cube de minerai. Ce minerai subit un triage immédiat qui augmente la proportion de l'or. Il est ensuite soumis au bocardage, puis au lavage ou à l'amalgamation.

Six autres compagnies ont produit dans des conditions analogues, 950 kilog. d'or dans la même année; ce qui porte à cinq millions la valeur totale produite par le seul district de Gongo-Socco.

Les autres exploitations du Brésil sont établies sur les sables des rivières, ou sur des alluvions anciennes enrichies par l'action érosive des eaux sur des gîtes de nature analogue à ceux de Gongo-Socco. Toutes ces alluvions contiennent en effet des quartz ferrifères et des grès métamorphiques. Les mêmes sables renferment à la fois l'or, le palladium, le diamant, le platine, l'osmium et l'iridium, à Rio-Guarahi, Rio-Abaete, Tejuco, Corrego-das-Lagens. M. Pissis a observé que toutes les rivières qui

sont aurifères et gemmifères dans le sud de la province de Saint-Paul, ne le sont qu'après avoir quitté une formation d'argile schisteuse et de calcaires supérieurs aux grès, et après avoir traversé les grès qui se rapportent à l'itacolumite.

Dans plusieurs cas on a trouvé le diamant directement engagé dans un quartz blanc, grenu, qui lui servait de gangue, notamment dans les grès de Serra-Grammangoa. Quant aux autres gemmes, telles que les topazes, si communes au Brésil, l'euclase et le béril; elles se trouvent à la fois roulées et directement engagées dans des bancs d'itacolumite, qui sont fortement chargés de talc, de chlorite et d'oxyde de manganèse. Ces gemmes sont engagées dans des druses talqueuses, en cristaux, confusément mélangées de cristaux de quartz blanc ou améthysé. C'est surtout entre Villarica et la chaîne de Dios te Livre que se trouvent les gemmes.

Ainsi les terrains quartzeux, à la fois gemmifères et métallifères, présentent tous les caractères du métamorphisme le plus complet. Les porphyres amphiboliques traversent ces terrains en filons, en dykes amoncelés, souvent rapprochés et formant des séries de collines. Le terrain si profondément modifié est-il bien le terrain de transition; il y a lieu d'en douter, du moins pour toute la masse, car les parties supérieures (argile schisteuse, calcaire, grès et quartz métamorphiques) sont en stratification très-discordante sur les parties inférieures (quartz, schistes argileux ou talqueux et gneiss). En plusieurs points du Brésil des granites stannifères, des gîtes de galène et de plomb chromaté, paraissent avoir précédé la grande formation métallifère caractérisée par l'or et les gemmes.

Résumant les caractères de cette formation métallifère, nous trouvons que les métaux, l'or comme le platine, ne s'y trouvent qu'à l'état natif; et comme la plus grande partie des exploitations ont été établies sur les alluvions qui les contiennent, ces deux métaux ont été regardés comme de formation très-récent eet plus récente qu'aucune autre. Il n'en doit pourtant pas être jugé ainsi : les alluvions aurifères et platinifères ne nous représentent

jamais que la destruction des gîtes en place et sous ce rapport elles doivent être assimilées aux alluvions stannifères, avec cette seule différence que, l'or et le platine étant beaucoup plus disséminés dans leurs gangues que l'oxyde d'étain, ils sont bien rarement exploitables en place, et même difficiles à découvrir; tandis que, ayant bien mieux résisté, en vertu de leur malléabilité, à l'action de trituration des eaux, ils peuvent se trouver généralement dans les alluvions, à des distances bien plus considérables de leur point de départ.

L'or est presque toujours intimement lié à des minerais de fer. Au Brésil il est l'annexe fréquent du fer oligiste, dans les roches composées de quartz et de fer olygiste micacé. Dans les Cordillères, il est plus spécialement uni à des pyrites, ou à des hydroxydes qui paraissent provenir de leur décomposition. Après le fer, c'est le quartz qui est la gangue la plus ordinaire de l'or, même en dehors du Brésil; beaucoup de filons de quartz drusique, purs et cristallins, sont aurifères : il est à remarquer qu'au Brésil le développement de l'or semble presque toujours en raison directe de celui du quartz.

Andes Cordillères.

Les minerais d'argent proprement dits constituent, dans la chaîne des Andes, une époque très-distincte de la série métallifère; ce fait est mis en évidence par la liaison constante de ces minerais avec des porphyres feldspathiques et amphiboliques désignés par M. de Humboldt sous la dénomination de porphyres métallifères, tant cette liaison lui a paru intime. Ce n'est pas que les minerais se trouvent dans les porphyres eux-mêmes, mais ils ne se montrent dans les schistes et dans les calcaires que lorsque ces roches sont accompagnées des porphyres qui les ont à la fois accidentées et modifiées. Toutes les descriptions des gîtes de minerais d'argent aurifère de l'Amérique méridionale sont remarquables par leur identité et l'on peut, en faisant abstraction de quelques caractères de détail, décrire collectivement ces gîtes de la manière suivante :

Gisement en filons puissants et continus qui traversent indistinctement des schistes argileux et des grauwackes (filons de Zacatecas et de Guanaxuato, filons de Potosi); des calcaires compactes (filons du district de Pasco, de Catorce); des calcaires avec lydienne (filon de la Veta-Negra, de Sombrerete); des porphyres feldspathiques et amphiboliques (filons de Pachuca et du Xacal, partie supérieure de la Vetamadre de Guanaxuato); des porphyres liés aux trachytes et aux obsidiennes (filons de la Biscaina, Real-del-Monte). Ces filons sont ordinairement très-inclinés à l'horizon; et comme les alternances des couches de schistes, de calcaires et des masses porphyriques sont souvent très-accidentées, les filons se trouvent quelquefois parallèles à la stratification du terrain.

Gangues. Ce sont le quartz, la chaux carbonatée, les roches du toit et du mur auxquels on peut ajouter les pyrites qui jouent, ainsi que l'oxyde de fer, le rôle de gangues plutôt que de minerais. D'après cette énumération, les minerais d'argent aurifère sembleraient subordonnés à d'autres minerais et c'est en effet ce qui arrive. Ainsi, presque tous les filons ouverts à une profondeur considérable abondent en fer sulfuré mélangé de galène et de blende; l'argent natif, l'argent sulfuré et l'argent rouge, ne sont que subordonnés et n'ont d'importance que par leur valeur intrinsèque. Dans les exploitations peu profondes, la masse du filon est quartzeuse, les pyrites ont disparu et sont remplacées soit par des amas et des veines d'hydroxyde de fer terreux, soit par une espèce de conglomérat formé de quartz argileux et d'hydroxydes de fer. C'est dans ces terres ferrugineuses, connues sous les dénominations de *pacos* et de *colorados*, que se trouvent les minerais argentifères et aurifères. Il est évident que ces pacos résultent de la décomposition des pyrites et sont de véritables filons pourris dans lesquels la décomposition a détruit la structure cristalline et géodique qui caractérise ordinairement les gîtes de cette nature.

Minerais. Ne considérant ici comme minerais que les minerais caractéristiques de l'époque géognostique et de l'exploita-

tion, on distingue l'argent natif, l'argent aurifère, l'argent sulfuré, l'argent rouge. Les substances métallifères associées et accidentelles sont la galène, la blende, quelquefois le sulfure jaune d'arsenic, le cuivre sulfuré et le cuivre gris. Rien n'est plus variable que la proportion du minerai ou richesse du filon ; ainsi l'on a trouvé des masses d'argent natif qui pesaient jusqu'à 300 kilog. et il y a du minerai qui contient 40 et 60 pour cent : mais ces faits sont exceptionnels, et les mines de l'Amérique ne sont productives qu'en raison de leur nombre et de la masse de minerais extraite. La richesse moyenne de ces minerais n'est que de 0,0018 à 0,0025. L'argent obtenu par l'amalgamation contient presque toujours un peu d'or, la proportion à Guanaxuato est de $\frac{1}{160}$.

Cordillères du Chili.

Dans les Cordillères du Chili, où commence la série des gîtes métallifères, la distinction des minerais de cuivre, d'or et d'argent a été très-bien établie par les observations de M. Domeyko. Les affleurements des divers terrains suivent en effet, dans les Cordillères, la direction générale de l'axe de la chaîne et la disposition des mines est soumise à la même loi. Ainsi les côtes du Chili sont composées de roches granitoïdes ; cette bande de roches anciennes est celle qui renferme les filons aurifères caractérisés, comme au Brésil, par le quartz et le fer. Cette formation contient aussi les mines de cuivre, très-nombreuses au Chili ; elle est dominée par des porphyres amphiboliques et des eurites qui forment en quelque sorte le second gradin de la chaîne. A l'Ouest, ces porphyres sont en contact avec une formation calcaire puissante et développée, qui n'est autre que le terrain crétacé. Les couches de ce terrain ont d'abord une inclinaison générale vers l'Est ; elles ont été ainsi soulevées par les porphyres et suivent d'ailleurs comme eux la direction générale de la chaîne. Ces couches se raccordent ensuite, par des lignes horizontales, à un pendage opposé vers l'Ouest, pendage causé par la réapparition des por-

phyres et des eurites qui forment une nouvelle bande saillante suivant la direction générale de la chaîne.

Les deux plans de contact des calcaires crétacés avec les porphyres qui les enclavent et les relèvent ainsi à l'Est et à l'Ouest, sont des plans métallifères. Le premier, qui se maintient à 40 ou 50 kilomètres de la mer, en suivant parallèlement la côte, a été suivi sur plus de 400 kilomètres par M. Domeyko; il est marqué par les mines d'argent d'Arqueros, de Tunas, d'Amarga et toutes celles du pays de Copiapo. Cette ligne de mines, qui présente l'argent à l'état natif, amalgamé ou à l'état de chlorure, est séparée des mines d'or et des mines de cuivre du terrain granitique, par toute l'épaisseur de la formation porphyrique qui est stérile. Le plan de contact des calcaires avec la bande orientale des porphyres est marqué par de nombreux gîtes de galène, de cuivre gris argentifères, de sulfures et arséniures multiples argentifères. Enfin, derrière cette seconde ligne de porphyres, reparaissent encore les roches granitoïdes, avec filons de quartz ferrifères et aurifères, roches qui ne sont plus recouvertes que par la grande formation des trachytes et des volcans modernes, dont les masses colossales, posées sur un plateau dont les sommités dépassent quelquefois 2,000 mètres, s'élèvent à des hauteurs de 3,000, 4,000 mètres et au delà.

Ainsi donc tous les terrains qui constituent la chaîne peuvent être considérés comme stériles lorsqu'ils sont isolés et c'est seulement dans certain plans de contact que se montrent les gîtes métallifères; sous ce rapport, les règles posées dans les districts métallifères de l'Europe sont donc pleinement confirmées dans le Nouveau-Monde.Les minerais d'argent, la galène et le cuivre gris-argent sont postérieurs à la craie; les filons de quartz aurifère avec oxyde de fer et de manganèse, qui se trouvent dans le terrain schisteux, sont antérieurs.

La nature des gangues concourt également au Chili à faire distinguer les diverses classes de gîtes métallifères. Le quartz et l'amphibole sont les gangues ordinaires des minerais de cuivre; le quartz ferrifère est la gangue de l'or; le sulfate de baryte, la

chaux carbonatée spathique et la baryte carbonatée sont les seules gangues habituelles des minerais d'argent.

Les minerais du Chili consistent en argent amalgamé (Arqueros), chlorures d'argent et argent natif (Chanareillo, Agua amarga), bromure d'argent, arséniures, mispickel argentifère et sulfures multiples divers. Ces minerais, disséminés le long des Andes depuis Copiapo jusqu'à 80 kilom. au delà de San-Yago, ont présenté, d'après M. Domeyko, quelques particularités dans leur groupement. Les plus riches sont au nord, les plus pauvres sont au sud; les plus chlorurés au nord, les plus sulfurés au sud. La loi du minerai monte à mesure qu'on avance vers le nord et la quantité paraît en diminuer, tandis que, la loi diminuant vers le sud, on trouve de l'argent disséminé dans des masses considérables.

Les chlorures d'argent, qui sont les minerais les plus productifs du Chili, se présentent ordinairement sous forme de terres grises ou ocreuses, appelées pacos et colorados. Ces terres n'offrent à l'extérieur aucune apparence métallifère. En certains points, à Chanareillo par exemple, le chlorure s'isole en veinules compactes ou stalactiformes, et se présente même, vers les affleurements, en masses considérables mélangées d'argent natif.

La loi de ces minerais est très-variable; on en exploite qui ne contiennent que $\frac{3}{1000}$ d'argent; la majeure partie contient $\frac{5}{1000}$; les minerais sont réputés très-riches à la teneur de $\frac{1}{200}$. Les chlorures, les amalgames et les minerais qui contiennent l'argent natif peuvent être traités à la loi la plus basse. Un fait très-remarquable, c'est que les filons de galène et de blende, qui sont innombrables au Chili, et qui sont si aptes à contenir l'argent dans les autres contrées, sont au contraire très-pauvres dans celle-ci. Ce fait semblerait indiquer que ces filons plombifères appartiennent à une époque d'émanation plus ancienne, ce qui est d'ailleurs conforme aux données fournies par les autres districts.

Cordillères de la Bolivie, du Pérou, de la Colombie, etc.

Les Andes de la Bolivie, du Pérou, de la Colombie et du Mexique renferment également des séries de gîtes métallifères parallèles à la chaîne. En suivant cette immense ligne, on trouve les granites, les porphyres métallifères et les terrains de transition, avec des dispositions analogues à celles que nous avons mentionnées dans les Andes du Chili; ils sont surmontés de même par une série de cônes volcaniques. Des terrains sédimentaires, surtout des grès et des calcaires secondaires, se montrent sur certains points, comme s'est déjà montré le terrain crétacé; mais les gîtes métallifères sont principalement concentrés dans le terrain de transition accidenté par les porphyres.

Telle est la constitution de la riche montagne de Potosi dans la Bolivie, dont les gîtes argentifères ont fourni depuis leur découverte, en 1545, une valeur de plus de six milliards. Les gîtes de Potosi, les plus riches après ceux du Mexique, ont présenté un fait très-fréquent dans les filons argentifères : la loi du minerai, qui dans les affleurements était extrêmement riche, et s'élevait en certains points à 0,30, et en moyenne au-dessus de 0,0015, s'est affaiblie en profondeur et n'est plus aujourd'hui que de 0,0004. Les gîtes métallifères de cette partie des Andes se prolongent dans le Pérou jusqu'au lac Titicaca, c'est-à-dire sur une longueur de plus de 600 kilom. On trouve dans les Andes du Pérou, comme au Chili, des filons quartzeux aurifères, notamment dans la province de Tarma; de nombreux lavages d'or sont établis sur le Tunguragua et ses affluents. Les mines d'argent sont au nombre de plus de 600; les plus importantes sont aujourd'hui celles de Pasco, situées à 4,000 mètres de hauteur près des sources du fleuve des Amazones.

Les gisements des contrées équinoxiales affectent souvent des caractères spéciaux dont le type peut être pris dans le riche bassin du Pasco au Pérou. Ce gisement est analogue à celui qui a été précédemment désigné sous le nom de *pacos*, et

M. Rivero, directeur des mines, en décrit ainsi la composition et l'allure : Au centre du bassin de Pasco, on observe des masses saillantes d'une roche quartzeuse pleine de cavités et d'une couleur ocreuse. La structure de cette roche est fragmentaire ; elle semble un poudingue de quartz blanc, de pyrite et d'oxyde de fer, et, le plus souvent, on reconnaît encore, dans une partie de ces gangues quartzeuses, la texture du grès qui constitue une formation supérieure aux schistes de la contrée. Cet ensemble est le gisement en pacos qui, dans le district de Santa-Rosa, forme une masse aplatie, probablement un filon en stocwerk, parallèle à la stratification du terrain schisteux encaissant et dont les minerais fournissent 1 $\frac{1}{2}$ et 2 marcs d'argent par 100 kil. Il y a des masses immenses de ces pacos qui, ne présentant pas la structure cristalline des filons, ont souvent été regardées comme des couches contemporaines.

Les pacos américains doivent être assimilés aux filons, sinon comme forme, du moins comme origine ; ce qui tend à le prouver c'est le gisement des plus riches minerais dans la province même de Pasco. Ce gisement est un schiste à grain fin, dur et micacé, souvent traversé par de petits filons de quartz blanc et de pyrite qui semblent tantôt disposés en stocwerks, tantôt en amas. Cette pyrite est argentifère, et les minerais d'argent qui s'y rencontrent forment avec elle une seule et même masse. Les amas et les stocwerks pyriteux sont disposés en ligne droite comme s'ils avaient pénétré une couche fendillée et diversement disloquée. Il est à remarquer en outre que ces pyrites argentifères se décomposent très-facilement, même dans l'intérieur des mines, et que dans les affleurements et jusqu'à une profondeur assez considérable elles sont souvent remplacées par l'hydroxyde de fer. Or, si l'on compare ce gisement aux pacos, on est porté à ne voir entre eux d'autre différence qu'une décomposition beaucoup plus avancée de la gangue pyriteuse et le changement d'une portion des grès encaissants en quartz dur et compacte. Les pyrites, en abandonnant le quartz fendillé, ont en effet produit des amas fréquents de quartz en frag-

ments anguleux, incohérents et à peine cimentés par l'hydroxyde de fer où se retrouve l'argent que contenait la pyrite. Ces pacos ne contiennent jamais les groupements d'argent natif ou sulfuré qui se trouvent quelquefois dans le schiste, mais on peut voir dans ce fait un résultat de l'influence des gangues sur le remplissage, ou plutôt celui de la décomposition des minerais. En effet les pacos sont généralement plus riches que la pyrite où se trouvent des concentrations de minerais argentifères, de sorte qu'on peut supposer l'ensemble à des titres analogues et admettre que les concentrations ont eu lieu par des transports moléculaires dont les filons bien étudiés présentent tant d'exemples.

Le porphyre métallifère, tantôt feldspathique, tantôt amphibolique, constitue plusieurs des sommités de la localité et souvent des couches intercalées. Son développement concorde non-seulement avec la présence des pyrites argentifères, mais aussi avec la pénétration des substances métalliques dans une partie des couches calcaires qui recouvrent les grès des pacos. Le calcaire, qui est bleuâtre et compacte, est devenu cristallin en beaucoup de points. M. Rivero cite la montagne de Vinchos, où des couches calcaires sont pénétrées de pyrites et de galène argentifère, qui pourraient donner depuis 600 jusqu'à 1500 grammes d'argent au quintal métrique si l'absence du combustible n'en empêchait l'exploitation. Dans le district de Cuypan, ces mêmes calcaires contiennent des gîtes de cinabre dans une gangue calcaire et argileuse. Dans les mines de Trinidad, Notre-Dame, Descubidora, etc., on exploite un oxyde de fer argentifère avec pyrites de cuivre, dont le mur est une couche calcaire et le toit une couche de grès.

Les mines de Pasco produisent environ 80,000 kil. d'argent par année. D'autres gîtes métallifères sont encore importants dans la province de Chota, où des minerais analogues à ceux de Pasco traversent souvent les calcaires superposés au terrain de transition. A partir de la province de Chota, les mines d'argent deviennent assez rares; celles d'or et de platine ont seules de

l'importance dans les Andes de la Colombie. C'est principalement dans la branche des Andes qui borde les rivières d'Atrato et de San-Juan, et dans la vallée de Choco, que sont établis les lavages d'or et de platine.

L'étude rapide que nous venons de faire des conditions géognostiques dans lesquelles se trouvent les principales mines métallifères du globe, ne peut laisser aucun doute sur l'existence de certaines lois qui en ont réglé les groupements et l'apparition successive. Ces lois géogéniques des minerais sont surtout mises en évidence lorsqu'on fait abstraction de toutes les circonstances de détail et que l'on ne considère, pour les comparer entre eux, que les groupements caractéristiques importants par leur étendue et dont les faits ne peuvent être par conséquent considérés comme exceptionnels.

Ainsi, il résulte d'abord de cette étude qu'on ne peut plus mettre en doute la connexion des gîtes métallifères avec les roches ignées. De plus, si l'on divise les roches ignées en trois périodes : la première comprenant les roches granitoïdes, telles que les granites, les syénites et les protogynes; la seconde comprenant la série des roches porphyriques, les serpentines et euphotides, les trapps et les mélaphyres; la troisième enfin comprenant les roches volcaniques, c'est-à-dire les trachytes, les basaltes et les laves modernes, on remarque que les roches de la période intermédiaire sont réellement les seules métallifères. Les éruptions ignées les plus modernes à partir des émissions trachytiques, ne paraissent, de même que les plus anciennes, avoir amené, soit avec leur propre masse, soit par leur influence métamorphique sur les roches traversées, aucun gîte métallifère. Au contraire, dans la série intermédiaire, il n'est pas une seule roche qui ne se trouve en connexion avec des minerais; et, réciproquement, il n'est aucune formation importante de minerais qui ne se trouve en rapport avec des roches de cette période.

Il y a donc eu dans le refroidissement graduel du globe terrestre une période que nous pouvons appeler période métalli-

fère et qui correspond à celle des roches porphyriques. Il y a de plus un rapprochement remarquable à faire entre la manière d'être des roches ignées et celle des gîtes métallifères.

Dans les contrées métallifères, comme dans celles dont la constitution sédimentaire a été modifiée par des éruptions ignées, on remarque qu'il n'existe pas, sur un même point, une série complète des produits de ces deux actions génératrices. Chacune d'elles s'est exercée à une certaine époque et n'a, par conséquent, accumulé qu'une portion de la série de ses produits; de telle sorte que pour compléter cette série il faut en rechercher les diverses parties sur des points éloignés en choisissant les mieux caractérisés. Enfin, il est évident que, pour la série des gîtes métallifères comme pour celle des roches ignées, il faut faire abstraction de l'époque d'apparition, c'est-à-dire de l'âge par rapport aux terrains de sédiment, l'isochronisme n'existant pas pour les divers termes de la série.

Les gangues, ordinairement très-utiles pour l'étude spéciale d'un district, sont de peu d'importance dans l'étude générale des filons; le quartz en est l'élément principal à presque toutes les époques, et leur composition ne paraît se compliquer que par l'influence des roches encaissantes. On peut supposer ce quartz, que l'on voit si souvent isolé dans des terrains calcaires, comme produit de bas en haut, et cela paraît démontré dans beaucoup de cas; mais nous ne voyons dans les filons que des acides, tels que l'acide fluorhydrique, l'acide sulfurique, etc., qui soient d'une origine évidemment volcanique; quant aux bases, telles que la chaux, l'alumine, etc., elles doivent être attribuées dans beaucoup de cas à l'influence des roches encaissantes. On a pu remarquer en effet que les bases de chaux dominaient presque toujours dans des terrains calcaires. Il est cependant des bases, telles que la baryte et la magnésie, qui semblent avoir une origine analogue à celle que nous attribuons à la silice; de telle sorte que les filons peuvent être considérés, ainsi que l'a avancé M. Élie de Beaumont, comme ayant été à l'état de solfatares, c'est-à-dire de laboratoires souterrains dans lesquels les infiltra-

tions de la surface et des parois, modifiées dans leur composition et cristallisées sous l'influence d'une forte pression et d'une haute température, se joignaient aux sublimations de bas en haut, aux écroulements des épontes pour remplir les fentes et les obstruer entièrement.

C'est par suite de cette double origine de la matière des filons que le quartz a été regardé comme formant les gangues les plus anciennes; les terrains schisteux anciens ne contiennent en effet que très-rarement ces couches calcaires dont l'influence est la plus prononcée pour varier les gangues. Cependant les gangues à base de baryte et de magnésie paraissent réellement d'une formation postérieure à la prédominance presque exclusive du quartz.

Dans la composition des gîtes, les combinaisons métallifères sont à la fois les plus caractéristiques et celles dont l'origine ignée est la moins contestable. Nous avons même démontré que dans beaucoup de cas ces émanations métalliques étaient sorties à travers les couches sédimentaires, les avaient soulevées, pénétrées, métamorphisées, s'y étaient enfin intercalées comme de véritables roches éruptives. L'ancienneté des gîtes contenant l'oxyde d'étain, le wolfram et le molybdène sulfuré, comparativement aux gîtes de cuivre; l'antériorité de ceux-ci comparés à ceux qui contiennent les sulfures de plomb et d'antimoine; l'âge récent des gîtes d'argent du Nouveau-Monde, comparativement à celui des gîtes d'or, ne peuvent laisser de doute sur un ordre géognostique dans l'apparition des métaux; ordre que les faits ne permettent pas encore de fixer d'une manière générale, mais qui a pu l'être dans chaque district.

Dans la série des émanations métallifères, le fer semble, en vertu de son abondance, jouer un rôle spécial et avoir été produit à toutes les époques. Cette abondance du fer ne paraît pas se borner à notre planète; les masses de fer météorique, les aérolithes toujours pénétrés de fer à l'état métallique, annoncent que cette abondance du fer s'étend à d'autres planètes. La supposition du fer à l'état natif et comme partie constituante de l'in-

térieur de notre globe est donc naturelle. Cette hypothèse peut seule expliquer l'existence si développée de gîtes non saturés d'oxygène, tels que le fer oxydulé et le fer oligiste, tandis que le fer abandonné à l'action extérieure des agents atmosphériques ne peut guère exister qu'à l'état d'hydroxyde ou tout au moins de peroxyde. Si cette hypothèse présente quelque probabilité, rien n'empêche de l'étendre aux autres métaux et, dès lors, les diverses combinaisons que présentent les gîtes métallifères dépendraient uniquement des affinités du métal, des influences locales; et, dans une classification géognostique des minerais, les bases seules devraient être consultées. Enfin la densité du globe, bien plus considérable que la densité moyenne des roches de l'écorce superficielle, concorde avec cette hypothèse de l'existence souterraine d'une proportion bien plus considérable de substances métallifères denses, c'est-à-dire dans un état tout au moins voisin de l'état natif.

SECONDE PARTIE.

DE L'EXPLOITATION DES MINÉRAUX UTILES.

CHAPITRE SEPTIÈME.

PROCÉDÉS D'EXCAVATION ET DE SONDAGE.

Les indications générales fournies par les études géologiques pour la découverte des gîtes métallifères, sont plutôt négatives que directes, c'est-à-dire qu'elles se bornent à indiquer les points ou les gîtes *peuvent* exister. Ces premiers indices sont déjà précieux, car ils impriment aux recherches cette marche normale, rationnelle, qui peut seule inspirer confiance; mais lorsqu'on est assez avancé dans l'étude géologique d'un district métallifère, pour bien apprécier toutes les circonstances du gisement des minéraux qu'on recherche, ces indications deviennent bien plus positives et bien plus utiles.

Ainsi, l'exploration détaillée de la constitution géologique d'une contrée indique non-seulement les terrains où peuvent se rencontrer les gîtes métallifères, mais encore les parties de ces terrains où il y a plus de chances de les trouver. Nous pourrions en accumuler des exemples, mais il suffit de se reporter à ce qui est dit précédemment sur les roches métamorphiques, et sur leurs zones de contact avec les roches ignées. Rappelons-nous donc que certaines zones de gneiss et de schistes argileux au contact des porphyres, certaines roches argileuses ou calcaires, altérées au contact des diorites et des serpentines, sont les véritables plans de concentration des substances métallifères.

La connaissance exacte des caractères minéralogiques des gangues est de la plus grande utilité lorsqu'on se borne à l'étude d'une contrée géologique bien définie. Dans certains districts, le sulfate de baryte, le spath-fluor, plus souvent encore certains quartz compactes, cristallins ou cariés, la topaze en Saxe, l'yénite et l'amphibole en Toscane, conduisent aux gîtes métallifères. D'autres fois certains minerais communs et servant eux-mêmes de gangues amènent à la découverte de minerais plus rares; le fer spathique, hydroxydé, la pyrite de fer, sont quelquefois les signes précurseurs de l'or, de l'argent, de la pyrite cuivreuse; celle-ci, dans certains districts, conduit au cobalt arsenical. En un mot, les indices souvent les plus insignifiants en apparence, tels que la texture des roches, leur couleur, la structure des couches, peuvent fournir des données importantes pour ces sortes de recherches.

C'est surtout en étudiant le lit des ruisseaux, les sillons tracés sur les flancs des montagnes par les eaux torrentielles, qu'on peut trouver quelques preuves de la présence des minerais dans une contrée montagneuse. Ces surfaces, couvertes de galets et de sables, présentent en effet le résumé des caractères minéralogiques de celles qui sont soumises à l'action des eaux; le sable d'un torrent, soumis au lavage, indique-t-il l'existence de quelques parcelles de minerais ? trouve-t-on quelques galets de leurs gangues habituelles ; en remontant le lit de ce torrent, les particules deviendront plus distinctes, les galets plus gros et plus nombreux. A chaque affluent, il sera essentiel de répéter les recherches pour vérifier de quel côté ces *indices éloignés* auront été charriés; puis, remontant vers leur point de départ, on verra les fragments caractéristiques croître en nombre et en volume, jusqu'à ce qu'on soit conduit aux *indices directs*, c'est-à-dire aux affleurements des gangues ou des minerais qui auront été les points de départ des indices éloignés.

Une fois amenées sur des affleurements, les études minéralogiques peuvent prendre plus de développement et fournir des données plus précises sur la valeur du gîte. On peut reconnaître

la forme de ce gîte, décider s'il appartient à une couche, à un amas, à un filon ou à un stocwerk; constater sa direction et ses rapports avec la stratification du terrain encaissant.

Les indices géologiques pour la recherche des mines n'ont pas une valeur absolue; ils ne sont réels que dans des districts circonscrits, hors desquels ils changent de nature. On ne peut donc en tirer parti qu'après une longue expérience et après avoir acquis cette pratique des mines qui peut seule permettre de préciser jusqu'à quel point on doit se fier aux signes extérieurs. Indépendamment des erreurs involontaires, combien de fois n'a-t-on pas abusé du langage scientifique ! mais cet abus est, lui-même, un hommage rendu à la science; il démontre seulement la nécessité de la rendre usuelle et populaire. On apprécie bien vivement les progrès et les services des sciences géologiques en se rappelant qu'il y a moins de deux siècles on employait encore la baguette divinatoire pour découvrir les mines.

Il est d'autres indices dont il faut encore ne tirer quelque conclusion qu'avec la plus grande prudence, ce sont ceux que fournissent la tradition et l'existence de travaux anciens. Les documents qu'on possède en général sur le rendement des anciennes mines sont très-exagérés; surtout il ne faut pas perdre de vue ce qui a été dit précédemment sur le haut prix des métaux dans l'antiquité ou même au moyen âge, et sur le bas prix de la main-d'œuvre, conditions qui permettaient d'exploiter utilement des gîtes qui seraient aujourd'hui sans valeur.

Procédés d'excavation. Emploi des outils.

Les excavations pratiquées dans le sol, pour l'extraction des matières utiles, prennent le nom de *carrières* lorsqu'elles sont ouvertes sur les gîtes généraux employés dans les constructions, tels que les granites, les calcaires, les gypses, les argiles, les schistes ardoisiers, les grès, etc. La dénomination de *mines* s'applique spécialement aux exploitations des gîtes métallifères et de ceux des gîtes généraux qui, par leur importance, donnent lieu à des

travaux très-développés; de ce nombre sont la houille, l'anthracite, le sel gemme. Enfin certains gîtes, tels que les fers d'alluvion, les tourbes, les alluvions aurifères, se traitent par des travaux en grande partie superficiels que l'on désigne sous les noms spéciaux de *minières, tourbières, lavages,* plutôt que sous celui de mines.

L'exploitation des mines embrasse tous les procédés, moyens ou méthodes qui ont pour but l'extraction des matières utiles; cette extraction devant toujours être sûre pour les travailleurs et aussi économique que possible. Cette science doit encore définir le gîte, veiller à son aménagement, afin de préparer et conserver pour l'avenir les garanties de sécurité et de richesse. Tel est le but de cette réunion d'études spéciales et de procédés empruntés en partie à la Géologie et à la Mécanique, réunion qui présente à la fois les vues théoriques les plus étendues, et les détails pratiques les plus positifs et les plus minutieux [1]. Nous avons essayé, dans la partie précédente, de donner idée des théories; il nous reste à exposer les détails pratiques qui constituent spécialement l'exploitation et l'application des études géologiques.

Les indices fournis par l'étude des terrains ne peuvent amener qu'à découvrir les affleurements des gîtes de minéraux utiles et à faire apprécier approximativement leur composition, leur forme, leur puissance, leur direction. Pour constater d'une manière positive tous ces éléments, essentiels à connaître avant toute exploitation, il faut nécessairement ouvrir des *travaux de recherche.* Cette exploration directe des gîtes peut se faire soit à ciel ouvert, par des *tranchées;* soit par des ouvrages souterrains, *puits* ou *galeries;* soit enfin par *sondage*, c'est-à-dire en forant dans le sol des trous de cinq, dix, quinze centimètres de dia-

[1] La science de l'exploitation, ainsi composée de principes, de procédés et d'appareils, dérive à la fois des sciences géologique, physique et mécanique; elle comprend en outre des faits spéciaux et des données pratiques qui sont acquis aujourd'hui par les travaux de tous les hommes distingués qui en ont fait l'objet de leurs études. Depuis les travaux de Werner, d'Héron de Villefosse, de Davy, bien des ingénieurs ont continué l'étude de la science d'exploitation et lui ont imprimé une marche rapide vers le progrès. Le corps des mines en France s'est spécialement distingué dans ces travaux spéciaux, et j'essaierai d'exposer dans cette seconde partie le point auquel ils ont amené la science d'exploitation. En abordant cette tâche, je dois surtout rendre hommage à la collaboration éclairée de M. A. Perdonnet, qui m'a précédé à l'École centrale, et a bien voulu mettre à ma disposition les matériaux nombreux qu'il avait déjà rassemblés.

mètre, qui, dans beaucoup de cas, suffisent pour donner, sur la composition souterraine des terrains, des notions assez exactes.

Les premières études de l'exploitation sont donc naturellement appelées sur les divers moyens d'excavation qu'on doit employer suivant la nature du sol, en un mot sur ce qu'on peut appeler l'*outillage* des mines. Werner a classé de la manière suivante les divers terrains, d'après leur résistance à l'excavation et d'après les divers moyens employés pour les attaquer :

1° Les *roches ébouleuses*, telles que les terres décomposées ou terres végétales, les terres sablonneuses, les sables et cailloux roulés, les débris de toute nature qu'il suffit de défoncer avec la *pioche*, pour pouvoir ensuite les enlever et les charger avec la *pelle*.

2° Les *roches tendres*, roches non scintillantes, c'est-à-dire ne faisant pas feu avec l'acier, telles que la houille, le sel gemme, les argiles, les argiles schisteuses du terrain houiller, les schistes ardoisiers, les calcaires grossiers ou oolitiques, crayeux ou marneux, les gypses, les alluvions ou débris agglutinés par un ciment calcaire ou ocreux. Toutes ces roches peuvent être attaquées au *pic* et être abattues avec des *masses*, des *coins* et des *leviers*.

3° Les *roches traitables*, composées de roches non scintillantes mais compactes et tenaces, ou de roches scintillantes mais à texture lâche. Tels sont, parmi les premières, les marbres, les serpentines, les schistes métamorphiques métallifères dont le kupferschiefer du pays de Mansfeld peut offrir le type, les hématites brunes et rouges non quartzeuses; parmi les secondes, le grès houiller ou l'arkose, le grès exclusivement siliceux de Fontainebleau, le calcaire un peu siliceux, les roches cristallines avec commencement de décomposition. Ces roches sont attaquées au moyen de la *poudre*, mais on y joint l'action des outils tels que les *pics à rochers*, les *masses*, les *coins*, les *leviers* et les *pointerolles*. Ces outils peuvent même suffire au travail dans un grand nombre de cas.

4° Les *roches tenaces*, toutes scintillantes, telles que le fer oxydulé, les hématites compactes, les pyrites de fer et de cuivre,

le fer arsenical, tous les minerais ayant pour gangue le quartz, l'yénite et l'amphibole; la plupart des roches quartzeuses, les granites, les porphyres, les basaltes. Ces roches ne peuvent être abattues qu'à la *poudre*.

5° Enfin, certaines roches appelées *récalcitrantes*, telles que le quartz non fendillé, pur ou servant de gangues à quelques minerais, tels que l'oxyde d'étain, le cuivre gris, la galène ou la blende, avec lesquels il constitue un mélange presque intime. Ces roches sont rarement exploitées, leur nature à la fois dure et tenace en rendant l'abattage très-dispendieux; lorsque cependant il est nécessaire de les attaquer, on substitue ordinairement, à l'emploi de la poudre, l'action successive du *feu* et de la *pointerolle*.

Entailler, abattre, recueillir, telle est la marche du mineur. Pour entailler ou couper, il se sert dans les roches ébouleuses de pioches, *carrées* si la roche ne présente pas de nodules résistants, *aiguës* si elle en présente.

Dans les roches tendres, le sel gemme par exemple, il se sert de *pics* (fig. 29), du poids de 2 kilog. au plus et de 2 kilog. 75 y compris le poids d'un manche ayant m. 0,80 de longueur et m. 0,35 de diamètre. Ces pics sont remplacés dans les houillères par des pics plus aigus (fig. 30), et quelquefois à Saint-Étienne par la *rivelaine*, outil en fer plat ayant m. 1,30 de longueur

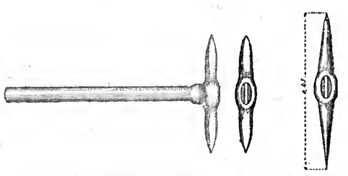


Fig. 29. *Pic employé pour l'abattage du sel gemme.*

Fig. 30. *Pic employé pour l'abattage de la houille.*

et 0,01 d'épaisseur sur une largeur de 0,03; cet outil arrondi au manche porte à son extrémité un ciseau aciéré, perpendiculaire. Le nom de rivelaine est également donné à des pics plats et très-aigus.

Tous ces outils, même pour les roches ébouleuses ou tendres, doivent être aciérés sur 4 à 6 centimètres de longueur et recevoir une trempe aussi forte que le comporte leur diamètre. En effet, indépendamment des particules ou noyaux de substances scintillantes que peuvent renfermer ces roches, leur propre résistance suffirait pour mettre promptement les outils en fer hors de service. Il est difficile de juger la résistance que présente une roche dans des travaux souterrains d'après, les débris extraits; l'action de l'air sur ces fragments, leur isolement et par suite la facilité avec laquelle on peut les briser empêchent d'apprécier la résistance qu'ils présentent réellement lorsqu'ils sont en masse compacte et soutenue.

Dans les roches traitables, les *pics* doivent être *obtus* et plus forts (aussi les fait-on généralement à une seule pointe, fig. 31), afin de les employer à la fois comme instrument de division et comme levier coudé; le pic à tête (fig. 32) sert à la fois comme pic et comme masse. Ces pics pèsent de 2 à 3 kilog. non compris le manche.

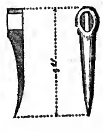




Fig. 31. *Pics à rochers.*

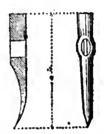
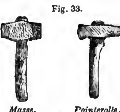


Fig. 32. *Pics à tête.*

La *pointerolle* est d'un usage général pour entailler les roches traitables et récalcitrantes : c'est un petit pic à tête, de m. 0,15

à m. 0,20 de longueur (fig. 33), avec un manche de m. 0,25 placé au milieu. Il est en acier ou aciéré à la fois à la pointe, qui est aiguë, et à la tête. Le mineur s'en sert en plaçant la pointe contre les saillies de la roche et frappant sur la tête avec une masse en fer, de manière à en faire sauter des éclats. Lorsque les roches sont très-dures, les pointes s'émoussent promptement et un mineur descend ordinairement au travail en emportant pour sa journée une trousse de douze pointerolles de dimensions différentes. Les pointerolles sont d'autant plus courtes que la roche est plus dure. Quant aux masses dont on se sert pour frapper, elles sont à manche court et doivent peser environ 2 kilog.

Fig. 33.



Masse. *Pointerolle.*

Ces divers moyens d'entaille ne doivent pas être appliqués sans méthode; ainsi, dans un déblai superficiel, on aura soin de donner à l'excavation la forme de gradins, de telle sorte que, le premier défoncement une fois fait, tous les massifs à attaquer se présentent déjà dégagés sur deux faces. Ce dégagement est essentiel pour faciliter l'abattage.

Dans une galerie, le mineur pratique sur la face à attaquer une entaille horizontale, soit au bas, soit à hauteur du coup, c'est-à-dire à 1 mètre environ, ainsi qu'il est indiqué fig. 37. Cette entaille étant menée à la profondeur que comporte la dureté de la roche, facilite beaucoup l'abattage de toute la partie dégagée. On procède de la même manière pour foncer un puits, plaçant l'entaille ou rigole soit au milieu, soit vers l'une des parois. Lorsque le mineur attaque de cette manière une paroi composée de plusieurs variétés de roches, il choisit les parties les plus tendres pour y faire ses entailles, et s'attache de même à suivre les points où le terrain est fissuré et par conséquent plus facile à attaquer.

Le terrain une fois entaillé, on l'abat avec des *coins* ou des *leviers* qu'on introduit soit dans les fissures naturelles du sol, soit dans des entailles étroites faites artificiellement. On em-

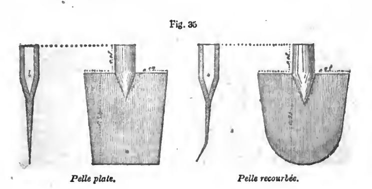
ploie les masses, soit directement pour briser la roche, soit pour enfoncer les coins. Les leviers sont droits ou recourbés, quelquefois épatés en pied-de-biche; les coins sont en fer, plats où à quatre pans égaux. Dans quelques circonstances on se sert aussi de coins en bois sec, que l'on fait renfler au moyen de l'eau après les avoir chassés dans le sol. Les masses sont en acier (fig. 34), à manche long, et pèsent depuis 4 jusqu'à 8 et 10 kilogrammes.



Fig. 34. *Masse.*

Enfin, pour recueillir les débris abattus, on emploie des pelles en fer, plates ou plus ou moins recourbées, suivant la nature des matières à ramasser (fig. 35).

Fig. 35



Pelle plate. *Pelle recourbée.*

Les anciens faisaient un grand usage, dans les travaux des mines, de l'action du feu. En effet, les roches les plus dures, brusquement chauffées, se dilatent et se fendent en perdant l'eau dont elles sont pénétrées. Quelques-unes sont même altérées dans leur composition; et si l'on projette ensuite de l'eau sur la roche incandescente, elle se contracte subitement et se

fissure à une profondeur plus ou moins grande. Dans cet état, les roches les plus récalcitrantes peuvent être attaquées par des pointerolles que l'on engage dans toutes les fissures. On peut abattre ainsi la partie altérée, et lorsque la roche saine est de nouveau mise à nu on renouvelle l'application du feu [1].

Cet usage est encore répandu aujourd'hui pour le percement des galeries dans quelques mines de Saxe et de Hongrie. On se sert à cet effet d'une caisse rectangulaire en tôle qui a la largeur de la galerie et dont la section est conique ; de telle sorte, que la longueur étant d'environ 1,60, l'ouverture présentée à la paroi qu'on veut attaquer a 0,40 de hauteur et l'ouverture opposée seulement 0,25 (fig. 40).

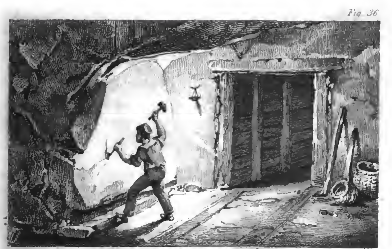
Il résulte de cette disposition que (le fond de la caisse étant disposé en forme de grille et un peu élevé au-dessus du sol) le feu

[1] Ce travail d'exploitation par le feu est certainement le plus ancien de tous les procédés. Dans les mines de l'antiquité, l'application du feu suppléait à la poudre et au manque de bons outils ; on en jugera par le passage suivant d'une ancienne traduction de Diodore de Sicile ; elle donne des détails intéressants sur les travaux de l'antiquité.

« Entre l'Égypte, l'Éthiopie et l'Arabie, il est un endroit rempli de métaux, et surtout d'or, qu'on tire avec bien des travaux et de la dépense ; car la terre, dure et noire de sa nature, est entrecoupée de veines d'un marbre très-blanc et si luisant (le quartz), qu'il surpasse en éclat les matières les plus brillantes. C'est là que ceux qui ont l'intendance des métaux font travailler un grand nombre d'ouvriers. Le roi d'Égypte envoie quelquefois aux mines avec toute leur famille ceux qui ont été convaincus de crime, aussi bien que les prisonniers de guerre, ceux qui ont encouru son indignation, ou qui succombent aux accusations vraies ou fausses, en un mot tous ceux qui sont condamnés aux prisons. Par ce moyen il tire de grands revenus de leur châtiment.

» Ces malheureux, qui sont en grand nombre, sont tous enchaînés par les pieds et attachés au travail sans relâche et sans qu'ils puissent jamais s'échapper, car ils sont gardés par des soldats étrangers et qui parlent d'autres langues que la leur. Quand la terre qui contient l'or se trouve trop dure, ils l'amollissent d'abord avec le feu, après quoi ils la rompent à grands coups de pic ou d'autres instruments de fer. Ils ont à leur tête un entrepreneur qui connaît les veines de la mine et qui les conduit. Les plus forts d'entre les travailleurs fendent la terre à grands coups de marteau ; cet ouvrage ne demandant que la force des bras, sans art et sans adresse. Mais, comme, pour suivre les veines qu'on a découvertes, il faut souvent se détourner et qu'ainsi les allées qu'on creuse dans ces souterrains sont fort tortueuses, les ouvriers, qui sans cela ne verraient pas clair, portent des lampes attachées à leur front ; changeant de posture autant de fois que le requiert la nature du lieu, ils font tomber à leurs pieds les morceaux de pierre qu'ils ont détachés. Ils travaillent ainsi jour et nuit, forcés par les cris et par les coups de leurs guides. De jeunes enfants entrent dans les ouvertures que les coins ont faites dans le roc, et en tirent les petits morceaux de pierre qui s'y trouvent et qu'ils portent ensuite à l'entrée de la mine. Les hommes âgés de 30 ans prennent une certaine quantité de ces pierres, qu'ils pilent dans des mortiers avec des pilons de fer jusqu'à ce qu'ils les aient réduites à la grosseur d'un grain de millet. Les femmes et les vieillards reçoivent ces pierres mises en grain et les jettent sous des meules rangées par ordre ; se mettant ensuite deux ou trois à chaque meule, ils les broient jusqu'à ce qu'ils aient réduit en une poussière aussi fine que de la farine la mesure qui leur en a été donnée. »

Fig. 36



Abattage des roches par des coups de mine isolés placés au-dessus d'une rigole horizontale



Abattage des roches avec la pointerolle. Entaille des rigoles d'isolement.

allumé dans la caisse et entretenu par la petite ouverture bourrée de combustible, s'échappe par la plus grande, en léchant les parois du rocher contre lequel on le dirige. Les mineurs, par l'application alternative du feu et des outils, creusent ainsi une entaille dans la partie inférieure de la galerie, et poussent cette entaille, en avançant la caisse, jusqu'à un et deux mètres de profondeur. La partie supérieure est ensuite abattue soit à la poudre, soit en appliquant le même procédé, et allumant directement le feu dans l'entaille même, au fond de laquelle on dispose une grille.

Cette méthode de travail ne peut être appliquée que dans des mines dont l'aérage est vif et facile; la difficulté de se débarrasser des gaz produits par la combustion opposerait une impossibilité presque générale pour l'emploi de ce procédé dans les mines profondes. La découverte de la poudre, qui a permis une méthode d'abattage plus simple et plus rapide, facilita beaucoup le développement de l'art des mines, en permettant de donner aux travaux souterrains plus d'étendue et de simplicité.

Emploi de la poudre pour l'abattage des roches.

L'emploi de la poudre dans les mines remonte à l'an 1632 ; jusqu'à cette époque l'action des outils et du feu avait suffi aux exploitations, mais le travail était d'une très-grande lenteur et cette nouvelle application de la poudre fut un des progrès les plus remarquables de l'art des mines, puisqu'elle diminua de plus de moitié le prix de revient des ouvrages.

Le volume des gaz produits par l'inflammation de la poudre est de 450 fois le volume primitif, si l'on suppose ces gaz refroidis à 0°; mais lorsque ces gaz sont incandescents, le volume est de 4,000 et 6,000 fois le volume primitif de la poudre; la force d'expansion ainsi créée est l'aide le plus actif et le plus énergique dans les travaux souterrains.

L'abattage à la poudre est ramené, dans toutes les mines, à une méthode très-simple, consistant à forer des trous cylindriques

convenablement placés dans le rocher qu'on veut faire éclater ; à y placer une cartouche, par-dessus laquelle on chasse une bourre, en se ménageant les moyens de l'enflammer. Les charges sont naturellement mises en rapport avec les dimensions des trous forés et la résistance de la roche ; dans les travaux souterrains elles varient entre 60 et 150 grammes; dans les travaux à ciel ouvert, où les massifs, mieux dégagés, permettent d'agir plus en grand, elles sont portées à 500 grammes et jusqu'à un kilogr.

Les fleurets avec lesquels on perce les trous de mine sont des tiges cylindriques en fer, armées à leur extrémité d'un biseau un peu courbé, afin que les angles ne soient pas brisés, et un peu plus large que le diamètre de la tige, afin que le trou soit plus grand qu'elle. Le mineur frappe sur le fleuret avec une masse de 2 kil. à 2,50, en tournant après chaque coup son fleuret d'un douzième à un sixième de circonférence. Pour commencer un trou, on prépare la surface avec une pointerolle, et l'on se sert, surtout dans les mines d'Allemagne, d'un fleuret quadrangulaire dont la pointe est formée de deux biseaux croisés à angle droit (fig. 38).

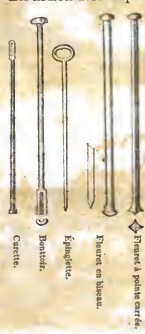


Fig. 38. *Outils pour le tirage à la poudre.*

Cette opération si simple du percement d'un trou de mine est la première éducation qu'on doit donner au mineur. Dans les campagnes on trouve difficilement des hommes au courant de ce travail; il est donc nécessaire d'entrer à ce sujet dans quelques détails pratiques.

Les dimensions ordinaires pour les fleurets, lorsque le travail se fait à un seul homme, sont : pour le premier fleuret qui sert à



Abattage des roches stratifiées par des coups de mines horizontaux placés au-dessus d'un havage



Abattage des roches par l'application successive du feu et des outils

commencer le trou, 0,30 de longueur et 0,029 de diamètre au biseau; le second fleuret, qu'on emploie lorsque le trou a environ m. 0,15 de profondeur, a 0,50 de longueur, et 0,024 de diamètre au biseau; le troisième a 0,70 de longueur et 0,022 de diamètre au biseau; la pointe et la tête de ces fleurets sont en acier. Un mineur fait avec ces outils des trous de m. 0,25 à m. 0,55 de profondeur; il doit frapper, en tenant sa masse par l'extrémité du manche, avec toute la force dont il est susceptible et donner 40 à 50 coups par minute. Il entretient de l'eau dans le trou pour empêcher le ciseau de se détremper et en même temps faciliter la désagrégation de la roche. Lorsque la pâte formée par la poussière gêne l'action du fleuret, il nettoie le trou avec la *curette* (petite tringle en fer méplat, courbée en cuiller à son extrémité); la profondeur convenable étant atteinte, il sèche le trou au moyen d'un tampon d'étoupe passé dans l'anneau de la curette, prend une *cartouche*, enfonce l'*épinglette* dans sa partie supérieure et place la cartouche au fond. Il chasse ensuite la bourre autour de l'épinglette à l'aide d'une tige en fer, évidée dans sa partie inférieure, appelée *bourroir* (cette bourre est ordinairement de la roche compacte non scintillante, telle que du calcaire, de l'argile, du schiste argileux etc.), puis retire l'épinglette, en passant le bourroir dans l'anneau et la détachant à petits coups afin d'éviter la production d'étincelles par frottement. Il ne lui reste plus qu'à verser de la poudre dans le trou laissé libre par l'épinglette, ou mieux à y placer des *canettes* (petits rouleaux de papier enduits de poudre délayée et séchée), puis à disposer une mèche soufrée assez longue pour qu'il ait le temps de se retirer en lieu de sûreté après l'avoir allumée.

Les détails de cette opération subissent quelques variations d'une mine à l'autre, mais il suffit de quelques jours de pratique pour faire apprécier ceux qui s'adaptent le mieux à une localité. On doit seulement insister sur certains détails généraux, tels que l'emploi des épinglettes en cuivre, et le graissage de leur tige toutes les fois qu'on va s'en servir; on évitera ainsi une grande partie des chances d'accident. Si le trou est fissuré ou très-humide,

on y chasse de l'argile sèche jusqu'à ce qu'on ait bouché les fentes, absorbé l'humidité, et l'on emploie des toiles goudronnées pour les cartouches. Le bourrage doit être solide, fortement chassé, et l'ouvrier aura soin de tourner de temps en temps l'épinglette pour qu'elle n'y adhère pas. Lorsqu'il y a plusieurs ouvriers dans un même atelier, on ne fait partir les coups de mine que tous ensemble, à la fin du poste, s'il est possible, afin d'éviter toute perte de temps. On doit veiller à ce que les ouvriers soient à l'abri pendant l'explosion, et dans le forage d'un puits on exigera qu'ils remontent au moins à 15 ou 20 mètres au-dessus du fond.

Dans plusieurs cas il est avantageux d'employer la poudre à des charges plus fortes, et de forer des trous plus grands. Les mineurs percent alors à deux ou trois, l'un tenant le fleuret et le faisant tourner, l'autre ou les autres frappant dessus avec des masses de 4 et 6 kilog. Le premier fleuret a dans ce cas 0,70 de long et 0,042 de diamètre au biseau; le second, 0,90 de long et 0,036 de diamètre; le troisième 0,1 et 0,035; le quatrième 1,20 et 0,31. On perce ainsi des trous qui peuvent avoir un mètre de profondeur et qu'on charge de la même manière que les précédents.

Cette méthode de forage s'emploie surtout lorsqu'on doit percer des trous de mine sous l'eau; dans ce cas, le trou étant foré suivant les méthodes indiquées, on le charge avec des cartouches contenues dans un tuyau de fer-blanc, et l'on opère dans ce tuyau comme à l'ordinaire. A chaque coup le tuyau est défoncé et raccourci, et on lui soude un nouveau fond. D'autres fois on se sert de cartouches enveloppées dans des boîtes imperméables et communiquant à l'extérieur au moyen de tubes de même nature que l'on remplit de poudre.

Après le tirage d'un coup de mine, les ouvriers doivent abattre, avec les pics et les leviers, toutes les parties fendues et ébranlées de la roche, ayant soin de ne placer un second coup qu'après s'être assurés, en frappant avec le marteau, que la roche est saine et bien adhérente.

La position des coups de mine exige de la part des mineurs

de l'intelligence et de l'habitude, parce qu'il est difficile de donner aucune règle à ce sujet; cette position étant déterminée par des circonstances variables et complexes. La partie qu'on veut faire sauter doit présenter moins de résistance que les autres. La forme de la paroi, le sens des fissures et leur étendue sont donc les causes principales qui peuvent guider dans le placement des coups de mine, toujours destinés à faire sauter les masses les mieux dégagées.

Lorsque la roche attaquée peut être entaillée, la méthode la plus rapide consiste à faire une entaille soit au sol d'une galerie, soit sur le côté d'un puits, puis à placer les coups de mine obliquement, de manière à détacher des fragments angulaires. On cherche les positions de chaque coup de mine en ayant soin de proportionner l'épaisseur du rocher et sa résistance à la charge, évitant surtout d'exposer le coup de mine à se décharger comme une arme à feu. Lorsque la roche ne peut être dégagée par l'emploi des outils, on procède à ce dégagement par de petits coups de mine longs de 25 centimètres, qui permettent ensuite d'en placer de plus forts. Enfin on met à profit les fissures naturelles, les parties moins résistantes, telles que les salbandes d'un filon; ayant soin, lorsqu'un massif est isolé sur deux faces, que le fond du coup de mine ne dépasse jamais la ligne qui termine le dégagement. La figure 36 indique la méthode d'avancement dans une galerie en roche dure, au sol de laquelle on a fait une entaille. Dans la figure 39, le mineur, agissant sur des terrains stratifiés, creuse au sol une profonde entaille qu'on appelle *havage* ou *souschèvement;* il s'engage sous ce havage, en ayant soin de le soutenir par des étais, de manière à le prolonger jusqu'à 1,30 ou même 2 mètres, pendant qu'un autre mineur, monté sur un chevalet, place vers le toit de l'excavation des coups de mine ayant toute la profondeur du havage et dont l'effet sera d'opérer le *rabattage,* c'est-à-dire d'abattre toute la partie supérieure.

La poudre étant devenue un élément essentiel dans le prix des travaux de mines, on dut chercher d'abord à lui donner la qualité la plus convenable à cette destination, et de plus à en

réduire la consommation autant que possible. La poudre agit 1° par le choc résultant de la formation subite des gaz produits par son inflammation, 2° par la détente de ces gaz. La première action est l'effet initial de la poudre, celui qui fracture les roches et qu'on cherche à produire dans les mines; la seconde action projette au loin les débris fracturés, c'est un effet qu'on cherche à éviter, et pour cela la poudre de mine doit être la moins vive de toutes. Ainsi la poudre de mine est composée de 65 parties de nitre, 15 de charbon et 20 de soufre; tandis que la poudre de guerre est composée de 75 parties de nitre, 12,50 de charbon et 12,50 de soufre.

Les qualités d'une bonne poudre sont de présenter des grains égaux, secs, durs, non tachants et nets de poussière. La provision d'une mine doit être conservée dans une petite poudrière éloignée des habitations et des travaux, et à l'abri de toute humidité. La fabrication de la poudre étant d'ailleurs prohibée en France, les mines la reçoivent de l'administration. Il est bon seulement de constater sa qualité par quelques expériences comparatives faites avec les diverses éprouvettes en usage, telles que le mortier-éprouvette, les pendules balistiques ou à recul.

L'effet initial de la poudre est en grande partie proportionnel à la surface soumise à son action. On a réalisé une augmentation d'effet en plaçant au centre de la cartouche un noyau cylindrique en bois dur ou en fer, qui augmentait ainsi la surface des cartouches faites avec un poids donné de poudre. Mais ce noyau intérieur était sujet à dérangement, et l'on est arrivé au même résultat en substituant au noyau intérieur une poussière qui maintient les grains de poudre à une certaine distance les uns des autres. La sciure de bois est ordinairement préférée dans ce but; on en mélange un tiers (dans les mines de sel gemme de la Meurthe) et jusqu'à moitié du volume (mines de Tarnowitz en Silésie). On a constaté, non-seulement dans ces mines, mais dans celles de Suède et d'Allemagne, que, pour un effet utile déterminé, on pouvait ainsi arriver à une économie variable

d'un tiers à un quart de la poudre employée. Des expériences faites par l'artillerie à Béfort ont également prouvé que l'on pouvait mélanger avec avantage jusqu'à moitié de sciure de bois dans des pétards de quatre centimètres de diamètre, placés à un mètre de profondeur. Le mélange du tiers est le plus usité dans les mines.

En Suède, on s'est servi de petits cônes en bois évidés sur les côtés et disposés au bas de la cartouche de manière à maintenir un vide entre la poudre et le fond du trou. Ce vide augmente la force initiale, et l'économie qu'on peut ainsi réaliser s'élève à plus d'un cinquième de la poudre employée. Il faut, pour que cette économie soit possible, que les trous aient au moins m. 0,40 de profondeur.

Le prix de l'abattage dans les ouvrages de mines varie entre des limites très-éloignées. En effet, ce prix dépend non-seulement de la dureté et de la ténacité de la roche à excaver, mais encore de la structure de cette roche, massive ou stratifiée, plus ou moins fissurée; de la forme et des dimensions de l'excavation; enfin de causes moins variables, telles que le prix de la journée du mineur, son aptitude à ce genre de travaux, et le prix des consommations, qui sont la poudre, l'acier et l'huile pour éclairage. Nous ne pouvons donc fixer ces prix d'abattage qu'après avoir étudié les diverses conditions du travail, mais en nous bornant à évaluer le temps et la consommation de poudre, les principaux éléments du calcul peuvent être basés sur les données qui suivent.

Les travaux à ciel ouvert sont ceux où l'abattage présente le moins de difficultés, car non-seulement les massifs y sont parfaitement dégagés, mais on peut y faire agir la poudre à fortes charges. Ainsi, dans sa journée, un mineur abattra dans des ouvrages à ciel ouvert et à gradins :

	Mètres cubes.		Kilogrammes.
Dans le granite le plus dur.	2,50	avec	0,65 de poudre.
Dans le grès tel que le grès rouge de Strasbourg, ou le grès houiller de St-Étienne.	4 à 6	avec	1,50
Dans le calcaire cristallin ou marbre.	8	avec	1,60
Dans le calcaire grossier parisien.	16	avec	3
Dans le gypse.	20 à 25	avec	2

Dans les galeries de mines le travail est beaucoup plus lent, les roches ne pouvant être enlevées pour ainsi dire que par écailles. Si nous prenons pour exemple les dimensions ordinaires des galeries de service ou de passage où, malgré quelques variations dans la hauteur et la largeur, les résultats peuvent être considérés comme sensiblement comparables, nous trouverons pour les quantités de temps et de poudre employées par mètre cube :

Nature de la roche.	Poudre.	Heures de travail.	Dimensions de la galerie.
Quartz compacte et cristallin métallifère.	6,80	210	1,90×1,20
Gneiss très-dur et très-tenace.	4,64	171	2×1
Minerai d'argent disséminé dans une gangue dure, formée de débris de gneiss liés par un ciment quartzeux.	3,88	143	2×1
Dans un filon de même nature détaché par des salbandes argileuses.	2,20	111	2,10×0,85
Dans un filon formé de débris de gneiss liés par un ciment argileux.	1,30	66	2,47×1
Dans un petit filon non adhérent à un gneiss.	0,82	39	2,47×1,47

Ces exemples, empruntés aux mines de Saxe et de Bohême, résument assez bien les diverses conditions de résistance que peuvent présenter les gîtes métallifères. On voit qu'indépendamment de la dureté de la roche, son état fissuré et les clivages naturels du sol exercent la plus grande influence sur le temps nécessaire au percement. Ces premières données seront complétées par les prix des mêmes ouvrages dans des roches non scintillantes, plus constamment homogènes, et dont le type est par conséquent plus facile à saisir.

Nature de la roche.	Poudre.	Heures de travail.	Dimensions de la galerie.
Calcaire cristallin, siliceux, dur et compacte.	2,50	53	1,90×1
Calcaire, marbre compacte.	2	48	2,10×1,26
Calcaire, marbre un peu schisteux.	1,55	45	2,30×1,50
Calcaire compacte, lithographique, stratifié.	0,90	30	2,50×2
Sel gemme.	0,33	19	2,50×3
Schiste argileux, tendre.	0,27	13	2.30×1,50

Pour les mêmes roches le prix du mètre cube abattu diminue à mesure que la section de la galerie est plus grande, et nous aurons occasion de développer ces premières données en traitant des divers travaux d'exploitation. Dans le fonçage des puits, la disposition étant encore moins favorable puisque le poids des blocs s'oppose au lieu d'aider à l'abattage, il faut compter au moins un quart en sus dans les quantités de temps et de poudre, et jusqu'à moitié si le travail est gêné par les eaux.

Procédés de sondage.

Les sondages sont employés, dans les mines, pour l'étude des terrains et la recherche de gîtes stratifiés, tels que les combustibles fossiles, le sel gemme, etc.; en second lieu pour établir, par des trous verticaux, inclinés ou horizontaux, des communications utiles à l'aérage des travaux et à l'aménagement des eaux; enfin pour l'exploration intérieure des gîtes de toute espèce, et pour la recherche des amas d'eau ou de gaz délétères qui peuvent se trouver soit dans des vides naturels, soit dans de vieux travaux.

Les sondes sont naturellement proportionnées aux travaux qu'on entreprend et, sous ce rapport, on en distingue trois, qui d'ailleurs ne diffèrent guère les unes des autres que par les dimensions des pièces qui les composent. Ce sont : 1° la petite sonde ou sonde du constructeur avec laquelle on fore des trous de 10 à 30 mètres de profondeur sur 5 à 7 centimètres de diamètre; 2° la sonde du mineur avec laquelle on peut pénétrer jusqu'à 200 mètres sur un diamètre d'environ 0 m. 16; 3° enfin la grande sonde, ou sonde du fontainier, qui peut forer des trous de 0 m. 16 à 0 m. 30, dont la profondeur n'est limitée que par la puissance des apparaux de manœuvre, et qui a souvent dépassé 500 mètres. Toutes ces sondes peuvent être assimilées à une tarière ordinaire dans laquelle on distingue trois parties : le manche, la tige et l'outil ou foret; la seule différence est que ces diverses parties, étant elles-mêmes composées de plusieurs piè-

ces plus ou moins pesantes, il faut y ajouter une chèvre ou appareil pour la manœuvre (fig. 41).

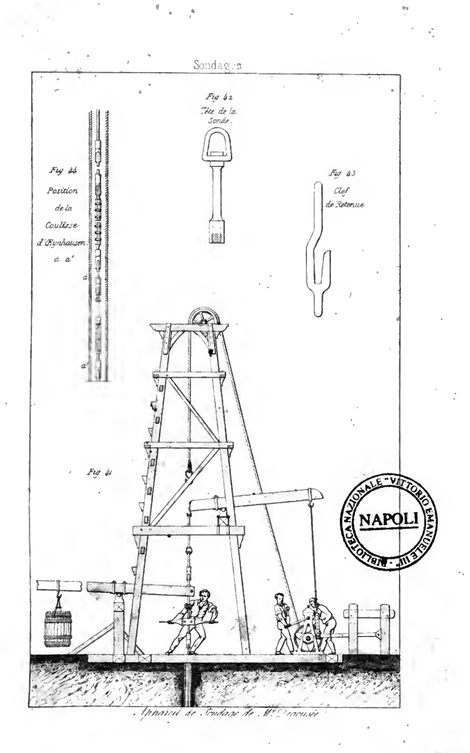
Les *têtes de sonde* doivent satisfaire à deux conditions : 1° pouvoir être tournées et transmettre à l'outil ce mouvement de rotation ou *rodage* sans le transmettre à la corde ou chaîne qui sert à relever la sonde et à laquelle elle reste suspendue ; 2° pouvoir être saisies par des leviers à l'aide desquels le mouvement giratoire est imprimé par les ouvriers sondeurs. On a satisfait à ces conditions en plaçant à la partie supérieure un étrier et en saisissant la sonde, soit par des leviers passés dans des yeux, soit par des leviers entaillés qui s'adaptent à des parties méplates (fig. 45). M. Degousée a ajouté à la tête de sonde une fourche portant un galet afin d'éviter le brisement de la corde de suspension. Quelquefois enfin la tête de sonde se compose simplement d'une portion de tige terminée par un étrier (fig. 42), le mouvement giratoire étant imprimé par des clefs en fer, ou des leviers entaillés qui saisissent le carré de la tige.

Les tiges de sonde se composent de deux parties : la tige proprement dite et l'emmanchement qui sert à les assembler entre elles.

Ces tiges sont ordinairement en fer carré dont les angles sont légèrement émoussés et dont la dimension varie de 0 m. 025 à 0 m. 050 de côté, suivant la force de la sonde ; elles doivent être en fer doux, corroyé et éprouvé. Leur longueur varie de 5 à 8 mètres, suivant la hauteur de la chèvre destinée à les manœuvrer. Pour maintenir la tête de sonde toujours à la hauteur la plus convenable pour la manœuvre on doit avoir en outre des rallonges de 0 m. 50, 1 m., 2 m., 4 m. Ces diverses parties de tiges sont réunies entre elles par des emmanchements (fig. 46).

Les tiges en fer ont une supériorité incontestable sur les autres, jusqu'à une profondeur qu'on peut fixer à 100 mètres, parce qu'elles seules permettent de roder, c'est-à-dire de tourner les outils dans le trou de sonde pour le régulariser et l'approfondir par l'action des tarières. Le poids de ces tiges est l'élément prin-

Sondages



Appareil de Sondage de Mr Degousée

cipal du poids total d'une sonde; il est donc essentiel de ne leur donner qu'une dimension proportionnée au diamètre et à la profondeur du trou qui doit être foré. Les grandes sondes artésiennes, ayant des tiges de 0,05 de côté, pèsent 19 à 20 kilogrammes par mètre courant, poids auquel il faut ajouter un excédant pour les emmanchements, pour la tête de sonde et pour l'outil. Dans la petite sonde du constructeur, le poids est seulement de 5 kilog. par mètre courant de tige; et la sonde du mineur pour descendre à 200 mètres, pèse environ 12 kilog. : le poids s'accroît donc rapidement à mesure que la sonde s'allonge, et, toutes les parties supérieures venant à peser sur celles du bas lorsqu'on manœuvre la sonde, les chances de rupture augmentent dans une proportion encore plus rapide.



Fig. 45. *Tête de sonde.*

A une grande profondeur, non-seulement le poids des tiges devient trop considérable et tend à écraser les parties inférieures; mais lorsqu'on vient à battre, c'est-à-dire à soulever la sonde et à la laisser retomber pour défoncer le sol, ces tiges dégradent latéralement le forage par leur fouettement et leurs vibrations, et amènent des éboulements pardessus les outils. On a cherché à remédier à ce grave inconvénient par l'emploi de tiges plus légères et surtout plus volumineuses. Les trous de sonde sont en effet généralement pleins d'eau et les tiges y perdant une partie de leur poids égale au volume d'eau déplacé, il devient avantageux d'en augmenter le volume, même à poids égal.

M. Degousée est arrivé à ce but par l'emploi de tiges en bois armées de fer ou de tiges en fer creux qui pèsent en effet autant

que les tiges en fer, mais qui perdent dans l'eau plus de la moitié de leur poids et qui par suite de leur volume sont sujettes à beaucoup moins de vibrations.

Ces tiges en bois (fig. 47) portent des emmanchements en fer semblables à ceux des tiges ordinaires en fer. Ces emmanchements s'amincissent en forme de coins et pénètrent dans les tiges entaillées où on les fixe avec des rivets et des manchons mis à

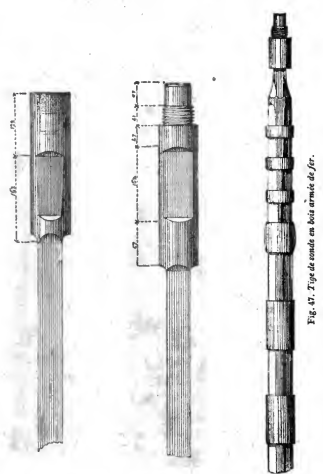


Fig. 47. *Tige de sonde en bois armée de fer.*

Fig. 46. *Tiges de sonde en fer carré avec emmanchement à vis.*

chaud. Elles sont en outre armées, dans toute leur longueur, de bandes de fer ou platines rivées entre elles. Leur diamètre est de 10 et 12 centimètres.

Les tiges en fer creux sont composées des bouts les plus longs de tubes étirés que puisse fournir le commerce. Ces tubes sont réunis entre eux par des manchons taraudés. Les emmanchements pénètrent dans le vide intérieur et y sont fixés à la fois par des clavettes et par une partie taraudée. Ces tiges, par l'eau qu'elles déplacent, ne pèsent dans un trou de sonde que moitié de leur poids réel. Elles ont sur les tiges en bois, qui sont encore plus légères, l'avantage de permettre le rodage.

Dans un forage profond on est donc amené à composer la tige totale, de fortes tiges en fer dans la partie inférieure, et dans la partie supérieure de tiges plus légères en bois ou en fer. Cette disposition est encore commandée par la nécessité de n'opérer le battage, c'est-à-dire le défoncement du sol, que par un poids déterminé et mis en rapport avec les parties inférieures des tiges en fer, qui, sans cette précaution, sont sujettes à se briser. Il arrive souvent que des sondeurs procèdent sans calculer ces éléments essentiels et sont dans l'habitude d'attribuer à une force majeure les nombreux accidents qui surviennent dans le forage. Celui du puits de Grenelle, qui a duré sept ans, n'est qu'une série d'accidents semblables. C'est qu'en effet la faculté de faire des tiges composées ne suffit pas encore pour rendre maître de ce poids lorsque le forage est arrivé à de grandes profondeurs, par exemple au delà de trois cents mètres, et l'on doit à M. Œynhausen un procédé qui complète celui de M. Degousée et assure en quelque sorte la réussite de tous les sondages.

On divise par le calcul la tige en deux parties, la partie supérieure est considérée comme devant être équilibrée par un contre-poids, et la partie inférieure doit seule agir dans la percussion. On ne laisse pas à cette partie, destinée à défoncer le sol par le battage, plus de six à huit cents kilogrammes, et la partie supérieure est équilibrée au moyen d'un levier-romaine dont la disposition est indiquée figure 41.

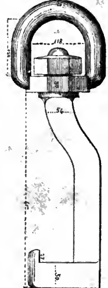

Fig. 48. Coulisse d'Œynhausen.

C'est entre ces deux portions de la tige qu'on place la *coulisse* dite d'Œynhausen (fig. 48 et 44). Cette coulisse est composée de deux parties glissant l'une dans l'autre sur une longueur de m. 0,30 environ ; de telle sorte que dans le battage ces deux parties deviennent indépendantes l'une de l'autre pendant tout le mouvement de descente. En effet, si l'on équilibre la partie supérieure par un levier-romaine, ainsi qu'il est indiqué fig. 41, lorsqu'on abandonnera la sonde à elle-même après l'avoir soulevée la partie inférieure frappera seule le fond, et la partie supérieure, après avoir glissé de m. 0,30, qui est la course de la coulisse, se posera doucement sur l'autre portion. La coulisse n'est employée que lorsque la sonde doit agir par percussion ; si l'on veut agir par rodage, on la supprime et on la remplace par un bout de tige ordinaire ayant même longueur. Dans ce cas de rodage, on supprime également les tiges en bois ou les petites tiges en fer dont on a pu également se servir, pour éviter de surcharger les parties inférieures, et on compose dès-lors toute la sonde de fortes tiges, capables de bien résister aux efforts de torsion.

Les emmanchements des tiges entre elles sont aujourd'hui ramenés à deux types. On adopte généralement les *emmanchements à vis*, quelquefois, et surtout dans les petites sondes, ceux à *enfourchement*.

Les tiges sont toujours renflées à l'emmanchement de manière que chaque partie isolée présente une force correspondante au corps

de la tige. Le meilleur de ces emmanchements est à vis (fig. 46), avec filets triangulaires[1]. La partie taraudée est surmontée d'une partie lisse qui facilite l'entrée et protége le pas; au-dessous se trouve une partie méplate pour tourner avec une clef et deux mentonnets qui permettent de suspendre la sonde sur un emmanchement au moyen d'une clef de retenue (fig. 43) et de la reprendre au moyen d'une clef de *relevée* (fig. 49).



Le seul inconvénient des emmanchements à vis est d'obliger à roder toujours dans le même sens, mais il est bien compensé par la solidité et l'unité qu'ils donnent à la sonde. On pourrait d'ailleurs obvier à cet inconvénient en y passant une clavette ou une goupille, mais cet inconvénient n'est pas assez réel pour qu'on ait adopté cette complication. Les tiges sont repérées avec soin et surajoutées toujours dans le même ordre.

Les emmanchements à enfourchement sont réservés pour les petites sondes. L'assemblage des deux parties se fait avec deux ou trois boulons, suivant la force des tiges. Ce mode d'assemblage n'a pas la fixité du précédent, et les sondes font toujours entendre un ferraillement qui provient de ce que les boulons prennent promptement du jeu, et que les tenons lâchent. Un assemblage de cette espèce, lorsqu'on relève ou qu'on descend la sonde, exige environ deux minutes, tandis qu'un assemblage à vis se fait en trente à quarante secondes. Nous ne parlerons pas des assemblages à manchon polygonal et de quelques variétés d'enfourchement; on peut les employer lorsque les sondes existent, mais leur infériorité est tellement reconnue qu'on n'en construit plus.



Fig. 49.
Clef de relevée.

[1] Les dimensions indiquées sur ces croquis se rapportent toutes à la grande sonde dont les tiges ont m. 0,05 de côté.

L'outil est, dans la sonde, la partie agissante. Sa forme est donc variable suivant le but qu'on se propose et la consistance du terrain dans lequel on opère. La première condition de l'outil est d'avoir un diamètre égal à celui du forage ; chaque outil est soudé à un bout de tige qui porte l'emmanchement. Dans l'emmanchement à vis les outils portent la vis, les boîtes devant toujours être descendues en recouvrement. Relativement au but, on peut distinguer : 1° les outils pour entamer

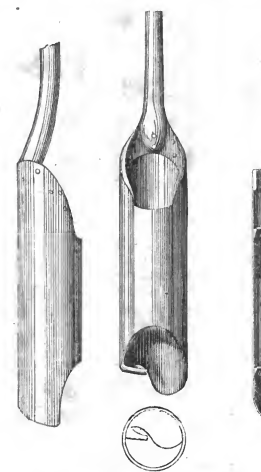


Fig. 50. *Tarière.*

Fig. 51. *Tarière à soupapes.*

et défoncer le terrain par la percussion ou battage; 2° les outils pour extraire du trou de sonde les roches tendres et désagrégées soit naturellement, soit par le battage; 3° les outils pour calibrer et égaliser le forage; 4° enfin, les outils pour les opérations accidentelles, par exemple pour retirer les sondes cassées, descendre ou enlever des tuyaux, etc.

Les outils de percussion consistent en diverses lames tranchantes qu'on appelle ciseaux ou *trépans*. Ces trépans sont très-variés dans leurs formes, et il suffit d'indiquer les plus ordinaire-

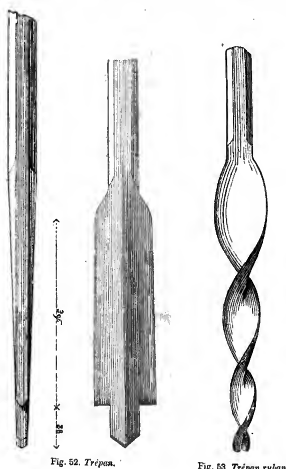


Fig. 52. *Trépan.*

Fig. 53. *Trépan rubané.*

ment employés pour montrer les modifications qu'on peut encore leur faire subir. Ces modifications ont d'ailleurs beaucoup moins d'importance que les ouvriers semblent y en attacher; des trous de sonde ont été souvent pratiqués dans des terrains très-divers avec des trépans de forme pareille.

La première forme, qui convient aux terrains les plus durs, est un ciseau simple, ayant pour largeur le diamètre du trou à forer, et terminé par un biseau tranchant; la seconde forme, dite trépan élargisseur, parce qu'elle divise l'action, convient mieux aux roches tenaces : cette forme est représentée fig. 52. Quant aux trépans ronds et cannelés, à pointe de diamant ou à taillants croisés perpendiculairement, leur utilité est tellement bornée et contestable que la plupart des équipages de sonde n'en ont pas : nous en exceptons le trépan rubané (fig. 53), souvent utile pour désagréger les roches tendres.

La plupart des tarières ressemblent pour la forme à celles qui sont employées pour forer le bois. Elles se composent d'une mèche qui entame par le rodage, d'un mentonnet qui soutient les matières entamées, et du corps de tarière qui les emmagasine en même temps qu'il alèse le trou ainsi formé (fig. 50). Il est évident que l'emploi des tarières est borné à l'extraction des matières tendres ou désagrégées par l'action des trépans; leur emploi direct ne produirait aucun effet dans un terrain dur.

Les détails de forme des tarières varient suivant la nature du terrain dans lequel on opère. Ainsi le corps des tarières est ouvert et cylindrique dans les terrains argileux ou calcaires dont les éléments broyés présentent encore de la cohésion; il est fermé et quelquefois conique pour les terrains sablonneux mouvants et les argiles coulantes, et dans ce cas on est même obligé d'employer des tarières fermées par le bas au moyen de soupapes (fig. 51) ou d'un boulet mobile (fig. 60) : de telle sorte que les matières accumulées ne puissent retomber lorsqu'on vient à relever la sonde.

Quelques outils tiennent à la fois des trépans et des tarières : tels sont le trépan rubané (fig. 53), et divers tire-bourres dont l'usage est abandonné.

Pour élargir un trou on se sert dans les terrains durs du trépan déjà indiqué, de tarières ouvertes d'un diamètre croissant. Enfin, pour égaliser un trou de sonde, lorsqu'on veut y descendre des tuyaux, l'équarrissoir de M. Degousée est le meilleur outil qu'on puisse choisir par la simplicité de sa construction. Cet équarrissoir est composé de deux plateaux ronds en fer, ayant un peu moins du diamètre du trou de sonde ; ces plateaux placés à une distance de 1,50 à 2 mètres, sont réunis entre eux par des barres en fer carré, un peu cintrées, et disposées de telle sorte que, par le rodage, elles agissent sur les parois et les égalisent. Il suffit donc, pour calibrer le forage, de faire agir successivement cet outil dans toute sa hauteur. Si l'on veut ensuite réparer ces barres, lorsque les angles sont émoussés ou lorsqu'elles sont faussées, le démontage en est simple et facile.

Les outils destinées à retirer les sondes brisées sont au nombre de trois : la caracole (fig. 54), la cloche d'accrocheur (fig. 55) et la souricière.

La *caracole* s'emploie lorsque la fracture est faite dans un emmanchement ou immédiatement au-dessus, de telle sorte qu'on puisse saisir la sonde par l'épaulement qui se trouve au-dessous du renflement. C'est une barre de fer façonnée en clef horizontale, quelquefois en hélice, mais faisant seulement un tour de spire. Après s'être assuré de la position de la tige restée dans le trou, en descendant dessus la sonde munie d'une pelote d'argile

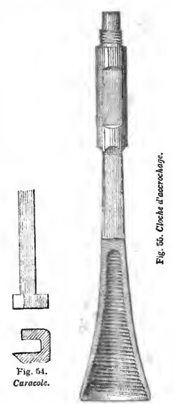


Fig. 54. Caracole.

Fig. 55. Cloche d'accrochage.

qui prend l'empreinte de la partie brisée, on descend la caracole en la maintenant dans une position convenable pour saisir la sonde au-dessous de l'emmanchement. Lorsqu'on sent que la tige est engagée dans la caracole on peut la retirer ainsi soutenue sur l'épaulement.

La *cloche d'accrocheur* (fig. 55) convient lorsque c'est la tige elle-même qui est cassée. C'est un entonnoir taraudé à l'intérieur et présentant ainsi une filière conique qui, après avoir coiffé l'extrémité de la tige, s'y incruste par le rodage en y creusant le pas de vis, de telle sorte qu'on peut retirer la sonde après l'avoir saisie. Enfin la souricière se compose d'une cloche dans laquelle la tige peut entrer, mais dont elle ne peut sortir au moyen de crans en acier disposés angulairement et pressés par des ressorts. L'acier s'incruste dans la tige et la saisit solidement. Lorsque aucun de ces moyens n'a permis de retirer un outil brisé, il ne reste plus d'autre ressource que de chercher à incruster cet outil ou fragment d'outil dans les parois du trou, afin de pouvoir continuer au delà.

La description de cet outillage rend très-facile celle de la manœuvre de la sonde.

Sur le point où l'on veut forer, on commence par creuser un puits de quelques mètres de profondeur et l'on y place bien verticalement une buse en bois qui a le diamètre maximum des outils, en la soutenant en haut par un cadre en bois, et remblayant ensuite le puits. Sur cette amorce du forage on place la chèvre ; elle peut être à deux, trois ou quatre montants ; l'important est qu'elle soit solidement établie, qu'elle ait assez de hauteur pour qu'on puisse retirer à la fois une tige et un outil placés à l'extrémité, enfin qu'elle soit munie d'un treuil pour relever ou descendre la sonde et d'un levier pour battre (fig. 41). Descendre la sonde, battre avec des trépans, roder avec des tarières et relever la sonde, telles sont en effet les manœuvres qui doivent être constamment répétées pendant la durée du sondage, et pour lesquelles une installation bien calculée est indispensable, afin d'éviter les pertes de temps et d'efforts.

La remonte et la descente de la sonde se font avec un treuil à

deux vitesses, afin que quatre, six ou huit hommes puissent remonter toute la sonde, et accélérer la vitesse lorsque la sonde est devenue plus légère par la suppression d'une partie des tiges. Pour faire l'emmanchement, on dispose à l'entrée du trou de sonde un cadre en bois armé de fer qui s'ouvre à charnière et ne laisse passer que la tige. Sur ce cadre on place horizontalement la clef de retenue (fig. 43), et on appuie l'emmanchement à vis sur cette clef au moyen des épaulements inférieurs. On coiffe la vis avec la boîte, et on tourne avec des clefs dites tourne-à-gauche. Les épaulements supérieurs servent à saisir la tige avec la clef de relevée lorsqu'on doit remonter la sonde après avoir enlevé une des tiges supérieures.

Le battage s'exécute au moyen d'un levier spécial. On peut faire agir ce levier soit au moyen des hommes, soit au moyen de cames placées sur le treuil (fig. 41). Si la sonde est devenue trop pesante, on y place la coulisse d'Œynhausen suivant les indications données précédemment, et on équilibre la partie supérieure au moyen d'un levier-romaine dont on peut faire varier l'effet lorsqu'on varie la position de la coulisse.

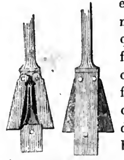
Enfin, pour le rodage, on se sert de simples tourne-à-gauche ou des leviers déjà indiqués comme agissant à la tête de la sonde.

Lorsqu'il faut maintenir les parois du trou de sonde, on emploie des tuyaux (ordinairement en tôle, quelquefois en bois ou en fonte). Ces tuyaux sont descendus avec la chèvre après que le trou a été bien calibré. On réunit successivement les divers tuyaux qui composent la colonne au moyen d'assemblages à recouvrement réunis par des boulons. Ces boulons, descendus à l'intérieur au moyen d'un fil, sont ramenés par l'ouvrier, qui saisit ce fil par un crochet passé dans le trou. L'écrou, en goutte de suif, est mis ensuite avec une clef spéciale, et l'extrémité du boulon est coupée et rivée.

La descente d'une colonne de tuyaux oblige à diminuer le diamètre du trou de sonde. Ainsi l'épaisseur des tuyaux en tôle varie progressivement de 0 m. 005 à 0 m. 002, les tuyaux ayant depuis 0,30 de diamètre jusqu'à 0,09. Ces tuyaux doivent

en outre être sensiblement plus petits que le diamètre du trou; on est donc obligé, à chaque descente de tuyaux, de diminuer le diamètre du forage et par conséquent celui des outils.

Dans certains cas on peut descendre une colonne de tuyaux et forer encore au-dessous au même diamètre à l'aide d'outils à ressorts (fig. 56) qu'on introduit dans la colonne en les forçant. Ces outils, après avoir passé la colonne, s'ouvrent et peuvent continuer le forage en dessous. On fait au besoin descendre la colonne de tuyaux en frappant dessus à mesure que l'outil agit. Dans les sables mouvants, on peut aussi descendre une colonne en faisant agir en dessous une tarière à boulet (fig. 60), ou plus simplement encore un seau à soupape qu'on manœuvre avec une corde. Un mouvement oscillatoire imprimé à cet outil le remplit comme une pompe, et le sable, raréfié par cette action, permet la descente de la colonne.


Fig. 56. *Trépan à ressorts.*

Pour retirer des tuyaux d'un trou de sonde, on se sert d'outils analogues à celui qui est représenté fig. 57 : c'est un manchon cylindrique pourvu de deux crochets qui s'ouvrent lorsqu'on tourne la sonde dans un sens, et se ferment lorsqu'on tourne en sens inverse; cet outil peut servir également soit pour les descendre, soit pour agrandir le diamètre du forage au-dessous d'une colonne déjà descendue.


Fig. 57. *Outil pour descendre ou arracher les tuyaux.*

Nous avons dit qu'on avait souvent besoin de faire dans les mines des sondages inclinés ou horizontaux. Dans ce cas les outils employés sont identiques à ceux que nous venons de décrire, mais la manœuvre de la sonde doit nécessairement subir des modifications. Ainsi, par exemple, pour faire un sondage horizontal, on disposera la sonde sur plusieurs poulies ou galets à gorge qui la

soutiennent, mais il est évident que dans cette position l'action par percussion est presque annihilée. C'est seulement en frappant avec des masses sur la tête de la sonde, et surtout en pénétrant dans la roche par le rodage, qu'on pourra forer dans cette position. Dans certains cas on s'est servi, pour soutenir la sonde, d'une tige ronde passant à travers un tuyau en fonte, suivant l'axe duquel elle était maintenue à l'aide de deux stuffing-box ; des chaînes attachées à la sonde permettaient de la faire frapper au fond du trou et, la partie soutenue étant ronde, le mouvement de rodage était également très facile à imprimer à l'ensemble de l'outil.

Cependant on ne fait jamais de sondages horizontaux dans des roches dures; c'est seulement dans les roches tendres et surtout dans la houille, le sel gemme, les calcaires, les argiles, etc., qu'on emploie ce genre de forage; encore a-t-on soin de réduire les diamètres des trous forés au strict nécessaire, par exemple à m. 0,035 ou 0,50. Les sondages les plus considérables qui aient été faits horizontalement n'ont pas dépassé 30 mètres de longueur sur un diamètre de 0,10, mais ordinairement ils n'excèdent pas 10 ou 15 mètres sur un diamètre de 0,035.

Les sondages inclinés sont d'une exécution d'autant plus facile que leur inclinaison est plus forte, et qu'ils se rapprochent davantage des conditions de forage des trous verticaux.

On a fait plusieurs sondages en Prusse et en France à l'aide du procédé chinois. Ce procédé consiste à faire battre un outil dans un trou de sonde au moyen d'une corde armée de nœuds en bois pour en empêcher l'usure par le frottement contre les parois du trou. L'outil se compose d'abord d'une tige longue de m. 1,60, représentée fig. 58 : cette tige est terminée à sa partie supérieure par un anneau de suspension, et à sa partie inférieure par un écrou destiné à recevoir les trépans (fig. 59). Elle porte en outre deux manchons cannelés destinés à servir de guides dans le trou et à prévenir les déviations. L'ensemble de la tige armée peut peser de 100 à 150 kil. Après l'avoir fait agir par percussion pendant un temps proportionné à la dureté de la roche, on descend, pour curer le trou, une tarière à soupape (fig. 60). Cette

tarière se manœuvre à la corde comme l'outil, et, par le mouvement alternatif qu'on lui imprime, elle ne tarde pas à se remplir des matières désagrégées par l'action des trépans.

Cette méthode de sondage à la corde n'a été employée d'une manière suivie dans aucune contrée. Les inconvénients qu'elle présente en cas de rupture de la corde, de la chute d'une pierre sur l'outil, de la déviation encore possible du forage dans un terrain peu homogène, et par conséquent la difficulté de tuber des trous ainsi forés, enfin l'impossibilité de traverser ainsi les sables mouvants et les argiles coulantes, l'empêcheront de prendre aucune extension. Elle ne se recommande d'ailleurs que par l'économie de l'outillage, avantage bien faible lorsqu'il en résulte une pareille incertitude sur le résultat du travail.

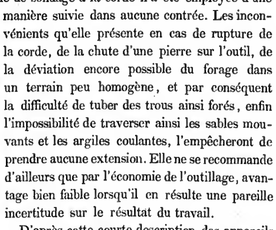


Fig. 58. *Tige pour le sondage à la corde.*

D'après cette courte description des appareils de sondage, il est facile de voir que la perfection plus ou moins grande de l'outillage, l'habileté du maître sondeur, sont pour beaucoup dans la rapidité avec laquelle on peut opérer. Les perfectionnements de l'outillage ont permis de limiter le poids des sondes dans le battage, et facilité l'emploi de ce puissant moyen d'action à des profondeurs de 4 et 500 mètres, profondeurs auxquelles autrefois on ne pouvait plus que roder. En écartant la majeure partie des chances de rupture, on a évité aussi les pertes de temps et d'argent, et donné à ces procédés une certitude qu'ils n'a-

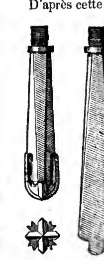


Fig. 59. *Trépans.*

vaient jamais eue. Par suite de ces mêmes améliorations, l'emploi des manéges doit être regardé comme très-défectueux. Le manége n'est appelé en effet à travailler d'une manière utile que pendant une très-petite partie de la journée, et M. Degousée, en adoptant les treuils à coussinets mobiles, de manière à pouvoir en changer le pignon à volonté, a démontré l'inutilité de tout l'attirail dont on a quelquefois surchargé les appareils de sondage. Un sondage peut être conduit à 400 mètres de profondeur et même au delà avec dix ouvriers, dont huit seulement sont appliqués au treuil, soit pour battre, soit pour relever ou descendre la sonde.

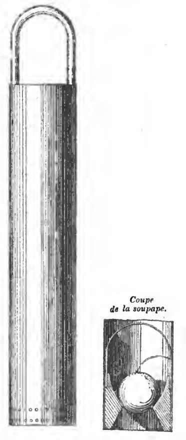


Fig. 60 *Tarière avec soupape à boulet pour le sondage à la corde.*

Le diamètre du forage, la dureté plus ou moins grande des roches traversées sont les éléments principaux de la rapidité avec laquelle on peut faire des sondages dans un terrain donné. A mesure qu'on descend, les difficultés et la longueur des manœuvres, le danger croissant des accidents augmentent beaucoup le prix de revient; enfin, il faut encore ajouter à ces éléments les opérations accessoires : telles que la descente des tuyaux et le passage des terrains mouvants qui peuvent être rencontrés.

Il résulte de ces diverses conditions une différence très-grande

entre le prix de revient des sondages de mines, qui se font sur de petits diamètres, dans des terrains solides et homogènes, n'ayant pour but que l'exploration de la nature des roches, et les sondages artésiens qui se font sur de grands diamètres, à travers des couches hétérogènes qu'il faut soutenir à mesure qu'on avance.

Dans le premier cas, nous citerons pour exemples deux sondages pratiqués dans des terrains houillers composés, le premier, d'alternances de grès et schistes; le second, de grès fins et de poudingues. Les divers éléments de temps et d'argent ont été comptés par mètre courant.

PROFONDEURS.	1er SONDAGE.		2e SONDAGE.		MOYENNE.	
	Jours.	Dépenses.	Jours.	Dépenses.	Jours.	Dépenses.
De 0 à 25 mètres.	0,56	4f 40c	0,75	5f 54c	0,65	4f 95c
25 à 30	0,60	5 47	1,00	» »	0,80	7 23
30 à 35	0,60	6 37	0,80	8 50	0,70	7 43
35 à 40	0,80	9 57	0,60	7 40	0,70	8,48
40 à 50	0,60	10 07	0,90	12 15	0,85	11 11
50 à 70	0,90	13 07	1,20	16 10	1,05	14 58
70 à 80	1,20	17 77	1,70	25 15	1,45	21 46
Moyennes.....	0,75	9 06	1,00	11 98	0,89	10 52

Ces prix sont sensiblement d'accord avec ceux qu'on paye en Angleterre à des entrepreneurs de sondages de mines. On traite en effet d'après un tarif réglé comme suit :

Mètres.	Mètres.	Le mètre courant.	
De 00	à 20	2,70	Les prix suivent ainsi une progression arithmétique dont chaque terme augmente de 2,70 par 10 mètres de profondeur.
De 20	à 30	5,40	
De 30	à 40	8,10	
De 40	à 50	10,80	
De 50	à 60	13,50	
De 60	à 70	16,20	
De 70	à 80	18,89	
De 80	à 90	21,60	
De 90	à 100	24,30	

Dans ces marchés, on excepte les roches très-dures qui peuvent se présenter et pour lesquelles l'entrepreneur reçoit un supplément. On fait d'après ces bases des sondages qui vont jusqu'à 200 mètres.

Les conditions de temps et de prix changent beaucoup lorsque le sondage doit être fait sur de grands diamètres, avec des tubages décroissants; ainsi que cela est nécessaire soit pour descendre à de grandes profondeurs, soit pour traverser des couches hétérogènes parmi lesquelles se trouvent des sables mouvants et des argiles sujettes à couler ou à se resserrer. Dans ce cas, les conditions étant d'ailleurs supposées moyennes, les prix sont de 30 fr. le mètre jusqu'à 33 mètres de profondeur, de 50 fr. le mètre de 33 à 66 mètres, de 60 fr. pour aller ensuite à 100. De 100 à 200 mètres les prix sont ensuite progressifs depuis 60 jusqu'à 120 fr. le mètre; ils s'élèvent ensuite de 120 à 250 fr. pour continuer jusqu'à 300 mètres. Les tubages sont comptés en sus de ces prix.

Si l'on compare ces prix au temps de travail, on trouve que les sondeurs expérimentés mettent, aux environs de Paris, deux mois pour faire des forages de 60 à 70 mètres. Des forages de 100 et 120 mètres ont été faits en quatre mois dans la vallée de la Loire.

Le prix d'une sonde pourra toujours être facilement calculé d'après l'évaluation du poids de chaque pièce et les prix du fer. A Paris, les outils de sondage et les emmanchements des tiges sont payés à raison de 3 fr. le kilog.; les tiges en fer corroyé à la petite forge coûtent 1 fr. 50 c. Les emmanchements ont été divisés, par M. Degousée, en quatre classes ou numéros, suivant la grosseur des tiges carrées, qui ont de m. 0,026 à m. 0,050 de côté.

Le n° 1, pour forer à 400 mètres et au delà,	pèse 22 kil. les deux pièces.
Le n° 2, pour forer à 300 m.	pèse 18 k.
Le n° 3, pour forer à 75 m.	pèse 14 k.
Le n° 4, pour forer à 50 m.	pèse 10 k.

En soudant les emmanchements, qui coûtent 3 fr. le kilog., à

des tiges en fer carré de force correspondante, on peut calculer aisément le poids et par conséquent le prix d'une sonde. Les petites sondes pour forer jusqu'à 100 mètres pèsent, avec leurs accessoires, environ 1,200 kilog.; les tiges ayant m. 0,026 de côté, et les outils ayant de m. 0,08 à m. 0,11 de diamètre. Les grandes sondes complètes pèsent de 1,800 à 3,000 kilog., avec tiges de m. 0,05 de côté et des outils d'un diamètre gradué depuis 0,08 jusqu'à 0,28. Une chèvre avec treuil de manœuvre coûtera de 300 à 600 fr. pour les petites sondes à tiges de 4 mètres de longueur : pour les grandes sondes à tiges de 8 mètres, elle coûtera de 1,200 à 1,600 fr.

Recherche des eaux souterraines. Puits artésiens.

La recherche des eaux souterraines jaillissantes, dites eaux artésiennes, est un des buts principaux des sondages; l'appréciation des circonstances qui peuvent rendre la réussite plus ou moins probable étant liée intimement avec la constitution géologique de la contrée, cette recherche rentre entièrement dans le domaine des ingénieurs des mines. Cette étude est d'ailleurs une des applications les plus intéressantes de la géologie.

La plupart des grands bassins hydrographiques sont déterminés par des contours géologiques, de telle sorte qu'on peut observer, dans la plupart des cas, une concordance remarquable entre les formes de la surface et la constitution du sol. Que l'on étudie, par exemple, le grand bassin tertiaire, ayant la forme d'une ellipse aux foyers de laquelle se trouvent Paris et Londres : tous les cours d'eau convergent vers la région la plus basse de ce bassin ; ils descendent d'une part des hauteurs jurassiques de la Champagne et de la Bourgogne, d'autre part des hauteurs analogues qui ferment vers le N.-O. le bassin de Londres, et traversent sur leur passage les affleurements successifs des terrains crétacés et tertiaires. C'est qu'en effet ce bassin, dont la forme paraît avoir été fixée immédiatement après le dépôt des terrains jurassiques, est devenu le centre des dépôts crétacés et ter-

tiaires, dépôts concentriques dont le niveau superficiel va toujours décroissant.

Si donc, pour explorer la constitution géologique de ces bassins hydrographiques, on suit une marche inverse à celle des eaux, on voit le pays s'élever à mesure qu'on avance, et l'on parcourt les affleurements des couches successives de tous les dépôts superposés. En parcourant ces rayons qui divergent du centre, les affleurements seront visibles sur des longueurs d'autant plus grandes que les couches seront plus puissantes et moins inclinées. Des dépôts qui n'auront pas plus de cent mètres d'épaisseur peuvent affleurer ainsi suivant des zones ayant plusieurs kilomètres de largeur.

Si, parmi les couches dont les tranches affleurent ainsi à des niveaux supérieurs aux régions centrales, on suppose qu'il y ait des alternances de roches perméables et imperméables, on aura la clef du phénomène des puits artésiens. En effet, les eaux courantes et pluviales, s'engageant dans les couches perméables sur les points de leurs affleurements, ne peuvent sortir de ces couches qu'autant qu'elles trouvent une issue naturelle qui leur permet de reparaître à des niveaux inférieurs. Si, par un trou de sonde, on leur ouvre artificiellement une issue satisfaisant à ces conditions, on aura établi un siphon dans lequel la branche verticale, étant à un niveau plus bas que la longue branche inclinée, donnera issue aux eaux. Telles sont les conditions auxquelles satisfont tous les puits artésiens connus, et même presque toutes les sources naturelles.

Les terrains tertiaires sont plus aptes que les autres à l'établissement des puits artésiens, parce qu'ils contiennent presque toujours vers leur base des couches sableuses surmontées d'argiles imperméables et qu'ils sont moins sujets que les terrains plus anciens à ces phénomènes de dislocation qui dérangent la régularité de l'hydrographie souterraine. Ils sont en outre, parmi les bassins sédimentaires, ceux qui sont le plus limités, et par conséquent le phénomène de circulation, se produisant sur des échelles moindres, est plus facile à exploiter par des sondages peu profonds et peu coûteux.

Il faut donc, pour obtenir un puits artésien, rechercher cette disposition en bassin et l'existence de couches perméables entre des couches imperméables, affleurant à des niveaux supérieurs à celui du forage. Les couches perméables sont ordinairement les dépôts arénacés, sablonneux, qui existent surtout à la base des formations géognostiques. Dans beaucoup de cas, des couches naturellement imperméables, des calcaires par exemple, jouent le rôle de couches perméables ; elles acquièrent cette propriété parce qu'elles sont divisées par de larges fentes, ou parce qu'elles sont très-fendillées par une multitude de petites fissures. Les calcaires crétacés sont souvent dans ce cas La grande quantité d'eau qui circule ainsi dans ces calcaires a été mise à profit de temps immémorial en Artois, et c'est de là qu'est venue la dénomination de *puits artésiens*. Dans les départements du nord, où l'on est obligé de traverser les couches crétacées pour arriver au terrain houiller, on désigne sous le nom de *niveaux* les courants d'eau souterrains que l'on y rencontre ; sources montantes du fond, disent les mineurs, parce qu'en effet lorsqu'on vient à les rencontrer elles font irruption dans les puits et s'y élèvent rapidement à un niveau supérieur à celui où on les a rencontrées.

Le bassin de Paris est le plus propre à fournir de nombreux exemples des diverses circonstances que peut présenter l'établissement des puits artésiens ; circonstances dont l'étude permet d'y étudier les chances de succès dans tous les terrains et dans toutes les positions.

Les dépôts crétacés et tertiaires de ce bassin sont, comme nous l'avons dit, contenus dans une dépression jurassique, et ce terrain jurassique, composé de puissantes alternances calcaires et argileuses, est plus apte qu'aucun autre à retenir les eaux à sa surface. Le terrain crétacé, dont les affleurements concentriques entourent le centre tertiaire, se termine à la partie inférieure par des couches sableuses, chloritées, essentiellement perméables aux eaux ; ces couches, placées entre les dépôts jurassiques et au-dessous de 400 à 500 mètres d'épaisseur de dépôts calcaires et marneux, présentent des conditions très-favorables à

l'établissement de puits artésiens. Ces conditions avaient été appréciées par MM. Arago et Élie de Beaumont, lorsque le forage du puits de Grenelle fut entrepris ; on traversa les dépôts tertiaires et les deux formations crétacées, et l'eau artésienne fut rencontrée à la profondeur de 548 mètres dans les sables verts placés sous les argiles du Gault. Le jet débite 4,000 mètres cubes par 24 heures, et la température des eaux est de 27°,05.

De quel point proviennent ces eaux si abondantes, que l'on a fait monter dans des tuyaux jusqu'à 20 mètres au-dessus de l'orifice? Les géologues ont placé le point probable d'infiltration aux environs de Troyes. On voit en effet affleurer près de Lusigny les sables verts aquifères ; or ce point est à 130 mètres au-dessus du niveau de la mer, tandis que le sol de Grenelle n'est qu'à 31 mètres. Ainsi donc les eaux engagées dans ces sables peuvent encore s'y mouvoir assez facilement pour donner lieu à des sources abondantes, lorsqu'on vient à leur ouvrir une issue, et cela malgré un trajet de plus de 160 kilom. dans la branche inclinée du siphon en suivant une pente de 3 millimètres par mètre. Ce premier forage sera sans aucun doute suivi d'autres tentatives ; mais il n'est pas toujours besoin de chercher à produire le phénomène sur une échelle aussi grande, et les dépôts tertiaires suffisent, dans beaucoup de cas, pour obtenir des fontaines jaillissantes.

On remarque au nord de Paris, entre la Marne, la Seine et l'Oise, un vaste plateau d'une forme à peu près elliptique, dont les deux grands diamètres sont de Paris à Dammartin et de Nogent-sur-Marne à Beaumont. Ce plateau présente sur ses bords et dans son milieu des collines et des buttes de gypse (Montmartre, Chelles, Sannois, Montmorency, Dammartin, etc.) qui ne lui appartiennent pas, et qui n'en altèrent pas le niveau ; car du reste sa constitution géologique est très-uniforme. Le terrain d'eau douce inférieur, représenté par des alternances de marnes lacustres et de calcaires siliceux, domine sur presque toute son étendue, et c'est sous ce dépôt d'eau douce qu'on trouve, à des profondeur variables, suivant le niveau des localités, une grande

couche de sables verts chlorités qui atteint quelquefois jusqu'à 20 et 25 mètres d'épaisseur.

Ce serait cependant une erreur de croire qu'on réussît partout également bien sur ce plateau; non que la couche aquifère ne s'étende pas uniformément sous la plus grande partie de ce dépôt d'eau douce, mais parce que le succès dépend de l'élévation plus ou moins grande de la localité. On conçoit en effet que, l'eau souterraine ne pouvant reprendre qu'un *maximum* de hauteur correspondant à celle de son point de départ, il faut que la localité où l'on établit une recherche soit placée à un niveau inférieur pour qu'on puisse obtenir une fontaine jaillissante.

La partie la plus basse du plateau, celle par conséquent où l'on est toujours sûr du résultat, est la plaine de Saint-Denis, qui, malheureusement, ne tarde pas à s'élever par une pente insensible. Les divers emplacements où sont établis les puits artésiens de Saint-Ouen, de Saint-Denis, de Stains, etc., marquent le niveau général de cette plaine, qui n'est guère en moyenne que de 10 à 12 mètres au-dessus de la Seine. Mais l'eau est susceptible de reprendre un niveau plus élevé. On a constaté à Saint-Denis et à Stains son ascension dans des tuyaux jusqu'à 6 et 7 mètres au-dessus du sol, c'est-à-dire à 18 ou 20 mètres au-dessus de la Seine. Le relèvement d'eau à Villemonble n'a pas été moindre de 25 mètres au-dessus du même point. A Épinay, où il existe également un puits artésien, l'élévation du sol est de plus de 16 mètres au-dessus du niveau de la Seine, et cependant Épinay est presque sur la limite du plateau d'eau douce.

En règle générale on n'obtiendra d'eaux jaillissantes sur un point quelconque de la plaine qu'autant que ce point ne sera pas placé à plus de 20 ou 25 mètres au plus au-dessus de la Seine; condition qu'il sera nécessaire de vérifier avant d'entreprendre aucune recherche.

Ces fontaines ne sont pas toutes également abondantes. Les unes débitent 100 et les autres 300 mètres cubes par 24 heures, quoique cependant plusieurs soient tout à fait voisines. Il faut attribuer cette différence à la manière dont le travail a été

exécuté. Plusieurs, en effet, ne sont peut-être pas garnies de tuyaux tout à fait imperméables, ce qui permet aux eaux ascendantes de se perdre en partie dans les terrains traversés; dans d'autres le forage n'a pas été poussé assez loin dans la couche sableuse, en sorte qu'on ramène seulement au jour les eaux qui coulent dans la partie supérieure de cette couche.

Une des conditions de succès est, comme on le voit d'après cet exemple, de ne pas se placer sur des points trop élevés au-dessus du niveau des cours d'eau réguliers de la contrée. Il résulte de cette loi que les grandes vallées sont les régions les plus favorables à la recherche des eaux artésiennes. Ainsi les phénomènes cités dans la vallée de la Seine se répètent dans la vallée de la Marne où M. Degousée a pratiqué un grand nombre de sondages qui ont mis en évidence le régime des eaux souterraines depuis l'embouchure de la Marne jusque par delà Meaux. Les fontaines jaillissantes d'Alfort, de Vayre près Lagny, de Claye, de Meaux, sont toutes alimentées par les nappes qui circulent dans les couches sableuses et ligniteuses des argiles plastiques. On a atteint ces couches à des profondeurs variables de 40 à 90 mètres, et le débit d'eau est en moyenne de 200 mètres cubes par 24 heures.

Dans la vallée del 'Oise, les mêmes phénomènes se sont encore reproduits à la base des terrains tertiaires, et les puits forés de Tracy-le-Mont près Compiègne, de Mouster près Clermont, sont également alimentés par les nappes qui existent dans les sables de l'argile plastique.

Enfin il y a encore un grand nombre de ces puits dans le petit bassin d'Enghien. Ce bassin est entouré de tous côtés d'enceintes fermées, les eaux superficielles viennent s'y amasser et forment par leur réunion l'étang de Saint-Gratien. Il se passe souterrainement dans ce bassin exactement ce qui se passe à l'extérieur; les eaux pluviales qui s'infiltrent sur les bords du bassin à travers les sables supérieurs de la formation gypseuse tendent à gagner sous terre un point correspondant au fond de l'étang, en sorte qu'en descendant un sondage

sur les bords de cet étang on rencontre à une profondeur de 12 à 18 mètres de petits courants qui reprennent un niveau supérieur de m. 0,30 à m. 0,50 au niveau des eaux stagnantes. C'est le phénomène des puits artésiens réduit à sa plus petite échelle.

Londres est, comme Paris, situé sur des dépôts tertiaires, et le bassin crétacé qui les renferme, affleure vers le Nord à des niveaux bien supérieurs. Le mécanisme des puits artésiens s'est reproduit, quoique le gisement des eaux ne soit pas identiquement le même. Ainsi l'argile de Londres, qui représente la formation du calcaire grossier, est trop homogène, et c'est dans les alternances sableuses et argileuses des couches correspondantes à notre argile plastique que le phénomène se produit. C'est en effet de ce terrain que jaillissent la plupart des puits artésiens des environs de Londres. Les principaux se trouvent au sud-ouest de la ville : tels sont ceux de Hammersmith, de Tooting, Merton, Fulham, Kingston, Cheswick, etc., qui jaillissent d'une profondeur de 80 à 100 mètres.

Le sol de la ville de Modène est encore un des exemples les plus anciens et les plus intéressants de cette hydrographie souterraine. Le terrain tertiaire de cette ville, placé entre les rivières de Panaro et de Secchia, renferme une nappe ascendante dont les eaux reprennent partout le même niveau horizontal. Dans les endroits bas de la ville, du côté du nord, par exemple, et le long de la voie Æmilia, ces eaux forment des fontaines jaillissantes; dans les endroits plus élevés, elles restent un peu au-dessous de la surface. On leur donne alors un écoulement au moyen de conduits souterrains aboutissant tous à un canal qu'elles alimentent et qui procure aux bateaux une communication facile de Modène avec la rivière de Panaro et par suite avec le Pô, où elle a son embouchure. Le nombre de ces puits est très-considérable, presque toutes les maisons en ont un; à l'époque où écrivait Ramazzini (1681) il résultait déjà de cette multiplicité que le niveau des anciennes fontaines avait baissé, et qu'une partie de celles qui étaient situées sur les points les plus élevés avaient même cessé de fournir de l'eau à la surface du sol. La

nappe souterraine a été reconnue sur 6 ou 7000 mètres de large et sur 4000 mètres du Nord au Midi. On la trouve à une profondeur de 20 à 25 mètres et l'on ne traverse pour l'atteindre que des terrains très-modernes; ce sont des alternances de couches composées en grande partie de matières végétales décomposées et de bancs de marne argileuse.

Beaucoup d'autres bassins tertiaires sont favorables à l'établissement des puits artésiens. Dans le bassin de l'Allier, dans celui de Marseille, dans celui de Bordeaux, on a constaté l'existence de nappes d'eau souterraines; nappes qui reprennent sur plusieurs points des niveaux au-dessus du sol, ou du moins assez rapprochés de la surface pour que le forage des puits artésiens y rende de grands services.

Les dépôts secondaires sont, comme les dépôts tertiaires, disposés en bassins géologiques dont les proportions sont seulement plus vastes. L'exemple déjà cité du forage de Grenelle démontre que l'on peut rencontrer dans ces terrains, comme dans les terrains tertiaires, les conditions de succès des fontaines jaillissantes. Les sables verts inférieurs du terrain crétacé ont fourni à Tours plusieurs nappes distinctes ascendantes, dont la dernière jaillit bien au-dessus du sol. M. Degousée a foré dans cette localité un grand nombre de puits remarquables par l'abondance et la pureté de leurs eaux. Ces nappes ont encore été rencontrées à Rouen dans les mêmes sables, et ce vaste réservoir souterrain est aujourd'hui d'autant plus remarquable qu'une multitude de localités pourraient y chercher, comme Paris, Tours et Rouen, des sources précieuses à la fois pour l'industrie et pour les usages domestiques.

Toutes les fois que ces couches sablonneuses viennent à affleurer, par suite d'un soulèvement, ou plutôt d'une dénudation des couches superposées, il est présumable que les eaux courantes et ascendantes qu'elles renferment apparaîtront naturellement à la surface. C'est en effet ce qui se produit d'une manière générale et particulièrement intéressante dans le pays de Bray. Ce pays forme un îlot allongé où les couches du grès vert

et même celles du terrain jurassique affleurent au jour par suite d'un soulèvement qui a brisé les couches crétacées superposées. Les sables aquifères affleurent aux environs de Forges, et aussitôt se montrent en abondance des sources puissantes parmi lesquelles sont celles de l'Andelle, de l'Epte et de l'Arque.

Le terrain crétacé, puissant de 500 mètres, contient, outre les nappes régulières de sa partie inférieure, d'autres nappes qui circulent dans des calcaires fendillés. Ce sont ces nappes qui alimentent les innombrables puits de l'Artois : parmi lesquels on remarque ceux de Lille , dont un fut, dit-on, établi dans l'année 1126. On en remarque un autre entre Béthune et Aire; c'est le plus profond du Pas-de-Calais; ses eaux jaillissent de 145 mètres de profondeur. On cite encore dans cette contrée les quatre fontaines de Gonnehem, près Béthune, qui font tourner une roue de moulin; celles d'Ardres, de Choques, d'Annezin, d'Aire, de Merville, de Blingelle, de Béthune, de Marchiennes, de Sommaing, de Saint-Amand, etc. C'est également de fissures crayeuses recouvertes par des terrains tertiaires imperméables que jaillissent les fontaines forées d'Abbeville, de Courtalin (Seine-et-Oise), de Saint-Quentin, de la vallée de l'Authie et de Noyelles-sur-Mer. Ces dernières fontaines, quoique percées la plupart dans des vallées basses et dominées par des plaines élevées et étendues, sont peu abondantes, et ne s'élèvent qu'à une faible hauteur.

Les fontaines d'Abbeville et de Noyelles-sur-Mer sont soumises à l'influence des marées, et ont un flux et reflux aux époques où la mer monte et baisse. Celle de Noyelles descend ordinairement à marée basse à deux mètres au-dessous de la surface du sol, et monte presqu'au niveau du terrain pendant la marée haute. Un clapet, convenablement placé vers l'orifice des tuyaux, empêche l'eau de rentrer dans le trou de sonde, et la conserve dans le bassin quand la mer vient à baisser dans la baie de la Somme.

Bien que les puits artésiens deviennent beaucoup plus rares au-dessous des dépôts crétacés, nous pourrions encore en citer

de nombreux exemples dans les contrées où ces dépôts sont peu dérangés et présentent des alternances variées. Le terrain du trias est surtout remarquable sous ce rapport; ainsi dans les couches de marnes irisées superposées au sel gemme de l'Est, on rencontre à plusieurs reprises des niveaux ou nappes ascendantes analogues à celles de la craie. Cette circulation d'eaux souterraines a été mise en évidence à Nancy et dans les environs, où il existe des puits artésiens jaillissant des marnes irisées et d'une profondeur moyenne de 70 mètres.

Ce même terrain de marnes irisées est le gisement de beaucoup de puits artésiens forés dans le Derbyshire. Les sources artésiennes de Derby y jaillissent d'une profondeur de 25 à 30 mètres. Cette profondeur varie ensuite suivant les localités, et va quelquefois au delà de 80 mètres. Lorsqu'on ne trouve pas d'eau sous le premier banc de marne rouge, on en perce un second, un troisième, etc.; l'eau s'élève d'autant plus haut et est d'autant plus abondante qu'on descend le sondage à une plus grande profondeur, son point de départ étant alors plus élevé. A Inslid, près de Preston, dans le Lanscashire, on est également certain, en sondant les marnes irisées à une profondeur déterminée, d'obtenir des eaux remontant au-dessus de la superficie du sol.

Ce coup d'œil rapide sur les conditions des principaux bassins propres à l'établissement des puits artésiens suffit pour faire juger sainement ces conditions. Les terrains de transition, les granites et toutes les roches massives sont évidemment dans les conditions les plus défavorables; les eaux souterraines n'y peuvent suivre que la direction capricieuse des fentes et fissures des roches, on ne peut donc y espérer aucun succès. Dans les terrains sédimentaires profondément accidentés, dans les contrées très-élevées qui ne sont dominées par aucun affleurement des dépôts souterrains, il ne peut y avoir de chances réelles, et c'est seulement dans les bassins stratifiés qu'on peut les apprécier et déterminer les points les plus favorables au succès.

Lorsqu'on se proposera d'établir des puits absorbants, c'est-à-dire de chercher des couches perméables où l'on puisse perdre

les eaux de la surface (phénomène inverse de celui des puits artésiens), les mêmes appréciations pourront servir de guide.

On voit ainsi que l'étude géologique d'une contrée, c'est-à-dire l'étude de sa composition et de sa structure, peut conduire aux applications les plus variées et les plus utiles. Dans la recherche des eaux souterraines comme dans celle des mines, cette étude ne peut, il est vrai, que faire apprécier les chances favorables ou défavorables; mais n'est-ce pas déjà beaucoup que cette indication de la marche à suivre pour atteindre un but, et cette garantie contre toute tentative anormale?

CHAPITRE HUITIÈME.

DES MÉTHODES D'EXPLOITATION.

Exploitation à ciel ouvert.

La méthode d'exploitation *à ciel ouvert* est la moins coûteuse de toutes. Le dégagement facile des masses, la possibilité d'opérer sur de grands ateliers, y rendent l'abattage prompt et économique; cette méthode doit être préférée pour tous les gîtes peu distants de la surface; elle est même employée pour des couches horizontales situées à des profondeurs de 10 et 20 mètres. Lorsque ces couches sont recouvertes par des terrains friables et ébouleux, il est en effet souvent plus économique de déblayer les terrains supérieurs que de les soutenir dans des excavations souterraines.

Les roches exploitées à ciel ouvert sont : d'abord les roches friables, telles que les sables et les roches décomposées, superficielles, qu'on doit enlever pour remblais ou déblais; les minerais d'alluvions, tels que les alluvions aurifères, stannifères, gemmifères, etc., et, surtout en France, les fers d'alluvion, minerais en grains généralement disséminés dans des roches friables. On exploite encore à ciel ouvert les roches consistantes employées dans la construction, telles que le gypse, les calcaires, les marbres, les granites, les schistes ardoisiers, les pierres meulières, etc.; enfin certains minerais en amas, parmi lesquels les minerais de fer dits mines en roche, tiennent le premier rang. La tourbe et les lignites superficiels, roches molles qui se trouvent dans certains terrains marécageux, doivent nécessairement être exploités d'après cette méthode.

Dans les divers cas d'exploitation à ciel ouvert, on ne doit

pas perdre de vue les principes généraux qui peuvent seuls les rendre économiques, et qui sont : 1° de donner aux excavations une forme telle que les massifs se présentent toujours dégagés sur deux faces, ce qui conduit à les disposer en gradins superposés ; 2° de ménager des rampes pour les transports, ou, si l'exploitation est trop profonde, d'établir des treuils d'extraction, en ayant soin de faire le triage dans le fond, afin de ne pas avoir à remonter des matières inutiles; 3° d'expulser les eaux atmosphériques et les eaux d'infiltration, soit par des tranchées, soit par des puits ou galeries d'absorption, soit enfin par des moyens mécaniques, après les avoir réunies dans des puisards.

L'exploitation des terres pour déblais ou remblais rentre dans l'établissement et la conduite des chantiers de terrassement. Cette exploitation se compose de trois éléments : 1° les tranchées ou points d'abattage et de chargement; 2° les voies de roulage; 3° les points de déchargement.

Dans les *tranchées*, on doit proportionner le nombre des chantiers d'abattage au cube à enlever et au temps qu'on veut y mettre. Comme ces travaux doivent être généralement poussés avec vigueur, on leur donne à la fois, dans le sens horizontal et dans le sens vertical, la forme de banquettes. Les voies de roulage doivent être disposées de telle sorte qu'on n'ait à élever dans les tombereaux ou wagons de chargement que les terres qui, d'après leur position, ne peuvent y descendre. Dans des tranchées bien disposées on comptera pour la fouille d'un mètre cube :

Terre végétale,	0,60 c.	Terre glaise,	2 fr.
Terre franche,	0,90	Roche dure,	2,50

Pour faciliter les cubages, les ouvriers laissent, de distance en distance, des témoins, c'est-à-dire des pyramides de terre qui marquent le niveau primitif du sol. On prend la moyenne de ces témoins pour le règlement des comptes; ces divers travaux se traitent toujours à forfait.

Le *transport* des terres abattues se fait à la brouette, au tombereau ou par des wagons sur voie de fer. La moyenne des

terres franches défoncées pèse 1,50, et la brouette contient m.c.b. 0,040. La charge ordinaire est donc de 60 kilogr. Les relais sont de 30 mètres pour des distances horizontales, et de 20 mètres lorsque la pente est au-dessus de 0,06 par mètre. Les éléments du prix de ces premiers transports sont, par mètre cube :

	Pour 1 jet de pelle.	Pour chargement dans les brouettes.	Pour un relai.
Terre vég., sables.	0,65 c.	0,60 c.	0,45 c.
Terre dure, glaise.	0,75	0,70	0,55

Il faut adopter l'usage des tombereaux pour les transports lorsque la distance est au delà de 100 mètres. Pour une distance de 100 mètres, la dépense des tombereaux ne dépasse en effet que de 50 p. 100 celle d'un relai de brouettes. Enfin, pour des parcours de 3 à 500 mètres et au delà, lorsque les travaux doivent durer quelque temps, il est toujours avantageux de se servir de voies en fer proportionnées d'ailleurs à l'importance des transports.

Les dimensions des gradins en hauteur et largeur sont généralement fixées à 2 mètres, comme étant les plus favorables aux chargements.

Les *points de déchargement* doivent être choisis, sous le rapport de la position, à un niveau plus bas que les points d'abattage et de chargement. Sous le rapport de leur capacité, il faut calculer le foisonnement des terres abattues entre $\frac{1}{3}$ et $\frac{1}{5}$, suivant la nature des roches. La disposition de ces chantiers de déchargement est des plus simples lorsque le niveau du sol permet de déverser les brouettes, tombereaux ou wagons au-dessus des talus inclinés à 45 degrés, qui se forment naturellement; si la disposition du sol est telle que la pente manque, on fait remonter les brouettes, tombereaux ou wagons par des rampes, de manière à faciliter l'accumulation des déblais.

Dans les exploitations de sables par lavage, si la couche de sable à exploiter est inférieure à d'autres il faut commencer par déblayer les terrains supérieurs. Ce travail étant terminé sur une certaine étendue, on creuse sur la face dont le niveau est le plus

bas une rigole d'environ m. 0,60 de large, pénétrant à une profondeur de m. 0,30 dans le sol inférieur à la couche de sable; on amène ensuite les eaux, qu'on a eu soin de faire arriver en tête du lavage, par des saignées perpendiculaires à la rigole, ces saignées étant faites seulement dans l'épaisseur des sables. Les saignées sont espacées entre elles de 15 à 20 mètres, et les ouvriers y lavent les sables avec des râteaux au moyen desquels ils rassemblent les galets, qui sont immédiatement soumis à un triage; les parties argileuses et légères des sables sont entraînées par les eaux et rejetées des points de la rigole transversale où elles vont se déposer. Les saignées restent en partie remplies de sables fins qui sont déjà beaucoup plus riches que les premiers. Alors on barre toutes les saignées, excepté celle qui se trouve en tête de la rigole principale, et on soumet à l'action la plus énergique du courant d'eau toute la masse de ces sables en les agitant avec des rables; les parties les plus légères sont emportées au loin, et les sables métallifères sont retenus dans la rigole, où l'on achève le lavage. C'est ainsi qu'on concentre à 40 et 60 p. 100 d'oxyde d'étain des sables stannifères qui n'en contiennent pas plus de $\frac{1}{1000}$. Quant aux sables aurifères, on les concentre à un degré suffisant pour qu'ils puissent être transportés et soumis dans des ateliers spéciaux soit à des lavages mécaniques, soit à l'amalgamation.

Dans une campagne de lavage qui dure de 6 à 8 mois, un ouvrier extrait ainsi, des sables stannifères de Bohême ou de Cornwall, de 5 jusqu'à 10 quintaux métriques de schlick, contenant environ 50 p. 100 d'étain. Le lavage des sables est d'ailleurs soumis à des conditions spéciales dont il sera traité dans le chapitre de la préparation mécanique des minerais. Quant à leur exploitation proprement dite, elle rentre dans les conditions générales déjà mentionnées.

Exploitation des roches consistantes à ciel ouvert.

Dans les carrières, c'est-à-dire dans les exploitations qui ont pour but d'extraire des roches remplissant des conditions déter-

minées de qualité ou de forme, l'abattage est soumis à quelques conditions particulières.

Lorsqu'il ne s'agit que d'abattre des roches, comme, par exemple, dans les carrières de gypse, la disposition des travaux en gradins, les précautions pour ménager des rampes qui facilitent le transport, un aménagement bien entendu des eaux suffiront pour constituer une bonne exploitation. Si l'on exploite du moellon et de la pierre de taille, il ne suffit plus que l'abattage soit économique, il faut encore qu'il fournisse des blocs parés, sains, les plus gros possibles, et d'une forme telle qu'ils puissent être employés avec avantage dans les constructions, soit en les plaçant suivant leur lit de carrière, soit en les plaçant en délit; c'est-à-dire dans le sens perpendiculaire.

Un chantier étant préparé par l'enlèvement des terres superficielles et la préparation d'escarpements qui mettent la roche vive à découvert, on profite d'abord des fissures de stratification et des fissures verticales pour abattre le moellon à l'aide de leviers, de coins et de masses. Arrivé à des parties saines, propres à fournir des blocs pour la taille, on les isole par des entailles faites avec le pic, et lorsque ces blocs isolés n'adhèrent plus que par une de leurs faces on les détache par un effort exercé simultanément sur toute la longueur de cette face à l'aide de coins ou par une série de coups de mine. Les entailles isolantes sont d'autant plus larges qu'elles doivent être plus profondes; une largeur de m. 0,35 est nécessaire pour donner passage au corps de l'ouvrier.

Cette méthode d'abattage, dite méthode *à la trace*, est d'une application générale pour tous les matériaux d'un grand échantillon. C'est par ces moyens d'entailles ou de rigoles d'isolement, et d'efforts simultanés pour détacher, que les anciens extrayaient les immenses pierres d'appareil employées dans leurs constructions, et les monolithes dont ils les ornaient souvent. C'est encore de cette manière qu'on procède pour obtenir les blocs de marbre, de granite, etc., nécessaires aux constructions, à la sculpture ou à l'ornement.

Dans le cas où les roches sont tendres, comme par exemple le calcaire grossier, les rigoles se font aisément avec des pics. La première qu'on doive pratiquer est celle de la base, dite *souschèvement*. Lorsque ce souschèvement a acquis une certaine profondeur, on soutient la roche avec des bois debout afin de préserver l'ouvrier qui se trouve engagé dessous, puis on pratique les rigoles latérales. Enfin, pour détacher la masse, on fait une rainure de 5 à 6 centimètres de largeur, d'une profondeur de 10 à 20, et l'on y enfonce simultanément des coins, en ayant soin de laisser le bloc poser un peu sur la face adhérente par l'enlèvement des épontilles, qu'on a remplacées par des rouleaux. Quand les roches sont dures, comme le marbre ou le granite, les rigoles d'isolement se font soit à la pointerolle, soit à l'aide de la poudre employée à petites charges; on détache ensuite les blocs isolés avec des coins et quelquefois par des coups de mine alignés auxquels on met le feu par une même traînée de poudre.

L'exploitation des meules à La Ferté-sous-Jouarre fournit un exemple remarquable de l'action simultanée. Dans un massif horizontal de ces roches siliceuses, on isole par une rigole circulaire la meule ou portion de meule qu'on veut détacher; puis, après avoir creusé à la base du bloc isolé un petit souschèvement horizontal pour engager les coins, on y place une rangée circulaire de coins en bois formés chacun de deux coins superposés. Ces coins sont en bois très-sec, on les chasse avec force, on les fait ensuite renfler en jetant de l'eau dans la rigole, puis on achève de détacher le bloc en forçant des coins en fer entre les coins de bois.

Les ardoisières d'Angers, ouvertes dans des couches de schiste argileux, inclinées de 70 à 80 degrés, présentent quelques circonstances particulières. La surface de la carrière étant déblayée, on pratique au milieu et suivant la direction des couches du terrain une rigole de 1 mètre de largeur sur une profondeur de 3 mètres; cette rigole est ce qu'on appelle la *foncée*. De chaque côté on abat deux gradins de même dimension pendant qu'on ouvre une seconde foncée au fond de la première.

L'excavation ainsi pratiquée doit avoir une légère inclinaison vers une des extrémités qu'on a soin de couper verticalement afin de pouvoir y établir les moyens d'épuisement des eaux et d'extraction des matériaux. En continuant ensuite les foncées et les gradins latéraux (on pousse jusqu'à 30 foncées) on obtient une série de gradins de 1 mètre de largeur sur 3 mètres de hauteur, inclinés suivant le sens des couches. On abat alors ces gradins en détachant les schistes avec les coins et les leviers, après les avoir isolés par des rigoles. Ce travail est d'autant plus facile, qu'outre le système de fissures indiqué par les délits ou feuillets des ardoises il en existe un autre, suivant la stratification, qui facilite beaucoup les entailles. On détache ainsi de grands prismes qui sont ensuite débités. Les ardoises sont préparées dans la carrière, afin d'éviter les frais de l'extraction des déchets. L'ardoisière ainsi exploitée s'élargit de plus en plus par l'abattage des gradins surplombants, et, sur l'autre face, elle se termine par un talus de 70°. La paroi qui fait face à la paroi verticale d'extraction est disposée en gradins avec des échelles pour la descente des ouvriers. La profondeur des exploitations est limitée à un maximum de 80 à 90 mètres, bien qu'à cette profondeur l'ardoise soit de meilleure qualité que dans les parties supérieures; mais, les frais relatifs à l'exploitation ou à l'entretien augmentant à mesure que les travaux s'approfondissent, il arrive un point où les prix de vente ne suffisent plus pour compenser ces frais.

Dans quelques cas assez rares, on exploite à ciel ouvert la houille et le sel gemme. La forme des excavations varie alors suivant la disposition des masses dans le terrain encaissant; mais la méthode est toujours ramenée à isoler l'amas par l'enlèvement du terrain superposé, puis à l'abattre en le découpant en gradins. Lorsqu'on opère sur des amas puissants, comme le sel gemme de Cardone, sur lequel nous avons déjà donné quelques détails, l'exploitation est susceptible d'une très-grande régularité, ainsi qu'on le voit fig. 13.

Beaucoup de minerais en amas peu distants de la surface sont

exploités à ciel ouvert. Les inépuisables mines de fer de l'île d'Elbe, la plupart de celles de la Suède, les mines de cuivre de Falhun sont dans ce cas. La forme du gîte, sa position en plaine ou à mi-côte, sa composition plus ou moins homogène, qui conduit à poursuivre certaines parties tandis que d'autres sont abandonnées, donnent à ces diverses exploitations des aspects très-variés. Les mines de Falhun, ouvertes suivant une zone de contact, ont l'apparence d'une immense tranchée longue et étroite, poussée à 80 mètres de profondeur, dont les parois abruptes semblent souvent verticales et même surplombantes ; des chevalets d'extraction analogues à ceux des ardoisières d'Angers, sont placés de distance en distance au-dessus de ces vastes excavations. L'abattage du minerai s'y fait actuellement par des travaux souterrains ; on peut donc conclure que cette profondeur de 80 mètres est en quelque sorte une limite générale pour la profondeur des exploitations à ciel ouvert. En effet, cette méthode conduisant à abattre dans les gîtes métallifères une grande proportion de roche stérile, plus la profondeur est grande plus les avantages disparaissent. Ainsi on exploite à ciel ouvert, près d'Arendal, en Norwége, une réunion de petits filons argentifères dont l'ensemble se trouve ainsi compris dans une même excavation ; mais, à une profondeur de 10 à 15 mètres, on abandonne les plus pauvres pour ne suivre que les plus riches par des travaux souterrains.

La célèbre mine de fer de Rio, dans l'île d'Elbe, est placée à mi-côte sur les escarpements qui dominent la mer. L'ensemble du gîte a été divisé par des plans horizontaux en cinq gradins de 10 à 15 mètres de hauteur et de 30 à 60 de largeur ; les faces verticales de ces gradins sont ensuite attaquées sur les points les plus riches, et découpées en petits gradins ayant les dimensions ordinaires. Les divers plans de cette exploitation sont réunis par des rampes qui permettent la circulation des chariots pour les transports.

Exploitation de la tourbe.

La *tourbe* se rencontre dans quelques contrées basses et marécageuses et dans certaines vallées, où elle résulte de la décomposition de petits végétaux généralement accumulés par une végétation sur place. Elle est le plus souvent formée par des plantes basses et des herbes marécageuses dont le tissu encore reconnaissable et entrelacé lui fait donner le nom de *tourbe mousseuse*. Quelquefois elle est formée par l'accumulation de feuilles entremêlées de tiges et de troncs d'arbres, et prend alors le nom de *terre d'ombre* ou de *tourbe feuilletée*.

Le gisement de la tourbe est en couches, presque toujours superficielles, dans des vallées où elle forme des bassins dont la surface humide est couverte d'une végétation vivace et active même dans les temps de sécheresse. Quelquefois elle est recouverte par des alluvions, d'autres fois enfin par des eaux dormantes. Les tourbes de la vallée d'Essonne, près Corbeil, celles des vallées de la Somme, de l'Aisne, de la Loire-Inférieure, résument les différents cas que peut présenter l'exploitation de la tourbe au-dessus ou au-dessous du niveau des eaux.

Lorsque la tourbe est superficielle et au-dessus du niveau des eaux, comme c'est une substance toujours molle et facile à couper, on l'exploite en y creusant des fossés à petits gradins ayant pour hauteur celle de la bêche qui sert à les découper, par exemple m. 0,30. Ces gradins sont séparés par une largeur d'au moins 1 mètre sur laquelle les ouvriers marchent à la suite les uns des autres, enlevant sur chaque arête une série de prismes de m. 0,12 à m. 0,15 d'épaisseur. Ces prismes sont aussitôt recueillis par les chargeurs qui suivent les découpeurs avec des brouettes. Enlever ainsi une ligne de prismes sur toute la longueur d'un gradin, c'est ce qu'on appelle enlever un *point* de tourbe. Les ouvriers peuvent se suivre sur le même gradin en enlevant des points successifs.

La tourbe extraite est portée sur des aires de dessiccation dans les endroits les plus secs et les mieux ventilés des environs. On y

dépose d'abord les prismes de tourbe à plat comme des briques et superposés à une faible hauteur; puis, quand ils ont pris assez de consistance, on les empile en pans de murailles à jour, d'environ 1 mètre de hauteur, qui forment une série de lignes brisées, afin qu'elles présentent de la solidité et que l'air y circule sans que le vent puisse les renverser. Ce n'est qu'après une dessiccation complète qu'on peut empiler la tourbe et en former des meules qu'on couvre de chaume pour en empêcher la détérioration; car si elle n'était pas bien sèche elle s'échaufferait, et si, au contraire, elle atteignait un point de dessiccation trop avancé on éprouverait beaucoup de déchet par l'écrasement.


Fig. 61. *Petit louchet pour l'extraction de la tourbe.*

Si la tourbe est recouverte d'eau et si l'on peut faire écouler ces eaux, on rentre dans les conditions précédentes; mais bien souvent on est obligé d'exploiter sous l'eau après en avoir fait baisser le niveau par tous les moyens possibles, tels que les tranchées de dérivation, les puits absorbants, et même les moyens mécaniques.

La consistance de la tourbe étant très-faible lorsqu'on vient de faire écouler les eaux, on emploie pour la retirer des outils appelés *louchets*, dont les formes ont pour but d'augmenter l'adhérence des surfaces tranchantes à la matière découpée. Le louchet le plus ordinaire est une bêche avec un aileron latéral faisant un angle avec sa surface (fig. 61). En deux coups, cet outil peut détacher un prisme de tourbe dont sa surface angulaire facilite

l'enlèvement. D'autres louchets portent une fourche à ressort qui vient serrer le prisme de tourbe contre la surface de la lame.

Si l'on doit exploiter au-dessous de l'eau et au delà de m. 0,50 de profondeur, les louchets ordinaires ne suffisent plus. On emploie alors le grand louchet (fig. 62), composé d'une lame coupante

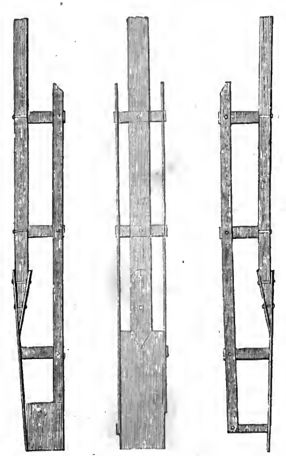


Fig. 62. *Grand louchet pour l'extraction de la tourbe.*

armée de deux ailerons à angle droit et d'un bâtis en fer à jour qui encaisse la lame de chaque côté. L'élasticité de ce bâtis presse et maintient le prisme qui a été détaché dans toute

sa longueur par un seul coup de louchet. Cet outil, de 1 mètre de longueur, est fixé à un manche de 5 à 6 mètres. Il se manœuvre par deux hommes auxquels des marques tracées sur le manche permettent de l'enfoncer au point convenable; après quoi ils le relèvent en le faisant basculer de manière à maintenir le prisme coupé sur l'outil. On opère d'ailleurs, quant à la disposition des points de tourbe, comme avec le petit louchet.

Dans certains cas la tourbe est tellement fluide et coulante qu'on ne peut l'extraire qu'à l'aide de dragues. La plus simple et la plus employée consiste en un filet disposé autour d'un cerceau en fer; avec ce filet, placé à l'extrémité d'un manche de 4 mètres de longueur, on drague la tourbe, dont on remplit des batelets; puis on la porte sur des aires de dessiccation, où elle est étendue et découpée en prismes. Souvent, pour donner à ces prismes plus de solidité, on les façonne comme des briques en les comprimant dans des moules un peu coniques. En Hollande, la tourbe, avant d'être moulée en briquettes, est lavée dans des baquets de manière à être réduite en bouillie bien homogène et débarrassée des matières terreuses qui pourraient s'y trouver.

Il résulte de l'exploitation des tourbières des dépressions marécageuses qui rendent le pays malsain; il importe donc de les combler le plus promptement possible, soit par des remblais, soit en y activant la végétation, soit enfin en y dirigeant des eaux courantes qui y déposent des alluvions sableuses ou limoneuses. L'extraction de la tourbe ne se fait que pendant l'été, époque à laquelle les eaux sont plus basses et les terrains marécageux plus consistants.

Cette exploitation se compose de procédés tellement simples qu'il est inutile d'indiquer les petites variations dont elle est susceptible. On jugera d'ailleurs l'importance comparative des diverses opérations par les données suivantes.

Les couches de tourbe qui se trouvent en Bavière, vers les sources du Mein, ont m. 2 à m. 3,50 de puissance. La tourbe est mousseuse et contient beaucoup d'arbres enfouis et décomposés dont les débris permettent encore de reconnaître le bou-

leau, l'aulne, le sapin, etc. Dans une tourbière de 27 hectares, on travaille à sec avec le petit louchet, en taillant des prismes horizontaux de m. 0,33 sur m. 0,14. L'ouvrier reçoit 0fr. 13 par mètre cube extrait et il peut en enlever huit dans sa journée; mais la tourbe perdant 0,60 par la dessiccation qui dure au moins six semaines, le mètre cube ne fournit guère, y compris les déchets, que m cb. 0,335 de tourbe en prismes. Les frais se trouvent ensuite ainsi répartis par mètre cube :

Frais d'exploitation.	0,36
Frais de dessiccation.	0,23
Entretien des outils.	0,02
Surveillance et frais généraux.	0,21
Total. . . .	0,82

Ce prix de revient suppose une tourbe très-facile à enlever et la main-d'œuvre à très-bon marché. Dans les tourbières des Vosges les conditions d'exploitation sont beaucoup moins favorables et on paye, par mètre cube de mottes, 0 f. 90 c. d'extraction et 0 f. 40 c. de dessiccation, total 1 f. 30 c. non compris les frais généraux qui portent la dépense totale à environ 1 f. 50 c. par mètre cube. Entre ces deux chiffres 0 f. 82 c. et 1 f. 50 c. se trouvent la plupart des tourbes des embouchures telles que celles de la Loire, etc.; mais pour obtenir le prix de revient réel il faut encore ajouter tous les frais préliminaires qu'on est obligé de faire soit pour épuiser les eaux, soit pour déblayer les alluvions qui peuvent recouvrir la tourbe. Le mètre cube de tourbe sèche pèse en moyenne 360 kilogr.

Exploitation souterraine; travaux préparatoires.

Les gîtes en filons, en couches inclinées, nécessitent l'emploi de travaux souterrains; la plupart des grandes exploitations commencées à ciel ouvert sur les amas et les stocwerks métallifères finissent elles-mêmes par être transformées en exploitations souterraines, à cause des difficultés de maintenir les parois de ces grandes excavations, d'y épuiser les eaux et d'en extraire économiquement les minerais. Mais ayant de pouvoir entrer en exploitation

souterraine, il faut atteindre le gîte et y créer des *travaux préparatoires* qui permettent d'établir un nombre d'ateliers proportionné à l'extraction à laquelle on veut arriver.

Ces travaux préparatoires consistent en puits verticaux ou inclinés, en galeries d'*allongement* (suivant la direction du gîte) et en galeries de *traverse* (perpendiculaires à la direction du gîte) à l'aide desquels on prépare les voies d'aérage, d'abattage, de roulage et d'épuisement. L'ensemble de ces travaux doit être assujetti à certaines conditions générales qui sont : 1° attaquer le gîte aussi profondément que possible, afin que les voies établies pour le service restent toujours dans le ferme et qu'elles aient, par l'importance des massifs dont elles sont appelées à desservir l'exploitation, un avenir de durée qui compense les frais de leur établissement; 2° diviser le gîte en massifs isolés par des puits et galeries, de telle sorte qu'on puisse aborder en beaucoup de points ces massifs dégagés sur deux faces; 3° disposer les ateliers de manière qu'ils soient aussi rapprochés que possible, afin de rendre la surveillance, l'éclairage, le roulage, etc., plus économiques, afin de n'avoir pas trop de travaux à entretenir à la fois, et d'abandonner et isoler les travaux d'exploitation dès qu'on les juge épuisés; 4° enfin, en ce qui concerne l'aménagement des eaux, les diriger toutes sur des points de rassemblement où leur épuisement soit facile.

La condition la plus ordinaire des gîtes est de présenter leurs affleurements sur des versants plus ou moins inclinés, et de suivre une direction et une inclinaison fixes. L'inclinaison peut être dans le même sens que celle des versants ou en sens inverse; mais dans ces deux cas elle est presque toujours bien plus forte que celle des versants eux-mêmes (fig. 63).

Supposons un filon inclinant dans le sens des versants : une galerie de traverse, percée au-dessus du niveau des plus hautes eaux de la vallée, sera le travail le plus avantageux pour desservir toutes les parties du filon au-dessus de ce niveau; elle aura de plus l'avantage de servir de galerie d'écoulement. Dans certains cas, si ces niveaux supérieurs n'assurent pas une exploi-

tation suffisante, si la galerie est longue à percer et si les eaux ne sont pas à craindre, il peut être plus avantageux de foncer un puits qui recoupera par de petites traverses les parties du filon qui se trouveront au-dessus ou au-dessous du point d'intersection. On pourra enfin combiner les deux procédés, c'est-à-dire percer la galerie et foncer un bure ou puits intérieur pour atteindre les niveaux au-dessous de la galerie. Les inclinaisons du sol et du gîte étant connues, il sera toujours facile de calculer le développement de ces travaux et de voir quel serait le plus économique et le plus rapide.

Dans le cas d'une inclinaison opposée à celle des versants, une galerie de traverse présentera des avantages presque nuls; et les puits placés au-dessus du filon, combinés avec des traverses qui rejoindront le gîte à différents niveaux, seront les seuls moyens rationnels d'atteindre le gîte et de préparer l'exploitation (fig. 63).

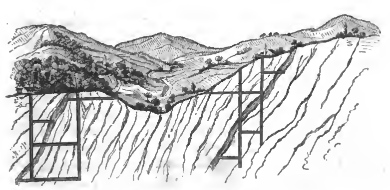


Fig. 63. *Puits et galeries pour atteindre un gîte en profondeur.*

Ces différentes combinaisons satisfont déjà à une partie des principes généraux que nous avons posés. Les travaux atteignent le gîte en profondeur, et, comme ils se trouvent dans les roches encaissantes, ils peuvent être conservés à l'abri des éboulements, etc., aussi long-temps que durera l'exploitation de tous les massifs à portée, sans qu'il soit nécessaire de réserver du mi-

nerai autour, ainsi qu'il le faudrait faire si ces travaux étaient ouverts dans le gîte lui-même. Par ce motif, et même dans les gîtes puissants ou verticaux, les voies de service seront en général placées plus avantageusement dans les roches encaissantes que dans le gîte lui-même.

Les puits ou galeries inclinées, appelés *descenderies* ou *fendues*, sont souvent préférés dans les débuts d'une exploitation, parce qu'ils sont immédiatement productifs. C'était la méthode généralement suivie dans les exploitations anciennes jusqu'à l'époque du moyen âge, alors qu'on n'avait aucune donnée positive sur les directions et les inclinaisons des couches et des filons. Mais ces moyens doivent être aujourd'hui restreints à des cas spéciaux très-rares; car non-seulement ils ont l'inconvénient d'exiger des réserves et d'occasionner ainsi la perte du minerai destiné à conserver le soutien nécessaire, mais les travaux, ne pouvant avoir dans les gîtes la régularité qu'on peut leur donner dans les roches stériles, conduisent à des services de roulage, d'extraction et d'épuisement plus dispendieux; et l'on a bientôt perdu en frais annuels le peu qu'on a gagné par l'abattage immédiat d'une faible quantité de minerai.

Le gîte une fois atteint, il faut, pour satisfaire aux autres conditions des travaux préparatoires, découvrir et dégager des massifs en quantité convenable. Pour y arriver, le premier travail à faire est d'ouvrir une galerie d'allongement au niveau le plus bas, en donnant à cette galerie une pente de quelques millimètres par mètre pour le service des eaux. Cette galerie d'allongement est percée dans le gîte lui-même toutes les fois qu'il présente une solidité suffisante, et, comme elle doit toujours suivre le mur de la masse minérale, elle est assujettie à toutes ses ondulations.

Le gîte étant ainsi découvert, on procède à sa division en massifs. Cette division se fait, par exemple, dans les filons métallifères plus ou moins inclinés, en établissant des galeries d'allongement à plusieurs niveaux (ordinairement distantes de 25 à 30 mètres), puis en les recoupant par des puits inclinés (distants d'environ 50 mètres); de telle sorte que le gîte est découpé en

parallélipipèdes ou massifs d'environ 25 mètres sur 50 ainsi dégagés et préparés pour l'abattage.

Dans les couches ou gîtes peu inclinés, la division se fait de la même manière si ce n'est que les puits inclinés sont remplacés par des galeries de traverse. Cette partie des travaux préparatoires est d'ailleurs déjà productive, puisque tout s'y fait dans le gîte et suivant ses ondulations.

Le gîte étant ouvert à plusieurs étages, et les étages étant réunis entre eux suivant l'inclinaison par des bures, des descenderies ou des traverses, l'exploitation régulière peut être commencée. Il est d'ailleurs évident qu'il n'est pas nécessaire pour cela que toutes ces divisions soient terminées ; le développement de l'exploitation suit celui des travaux préparatoires jusqu'à ce qu'on soit arrivé à la production normale.

Méthodes d'exploitation des gîtes métallifères.

Les méthodes d'abattage, les formes à donner aux excavations varient suivant la nature des substances exploitées et suivant la forme des gîtes. Ainsi il faut d'abord distinguer l'exploitation des substances métallifères ou *minerais*, de celle de la *houille* et du *sel gemme*. Ces divers minéraux sont en effet assujettis à des procédés spéciaux qui dépendent à la fois de leur composition et de leur gisement.

Les gîtes métallifères étant composés des substances les plus variées, leur exploitation embrasse la série la plus complète des méthodes, et ces méthodes ne subissent plus en réalité que des modifications de détail pour être appliquées à la houille et au sel gemme. En étudiant les méthodes d'exploitation des minerais, on aura donc parcouru la majeure partie des cas qui peuvent se présenter.

On doit d'abord distinguer les gîtes sous le rapport de la puissance et de la composition, car les méthodes varieront suivant que le gîte aura plus ou moins de 3 mètres de puissance, et qu'il sera plus ou moins incliné : elles varieront encore suivant que les matières qui les composent seront consistantes ou

ébouleuses, de telle sorte qu'on peut dresser le tableau suivant des divers cas qui peuvent se présenter et des méthodes qui leur sont appliquées.

Filons ou couches *au-dessous* de 3^{m} de puissance.	Inclinaison entre 45° et la verticale.	Méthode par GRADINS DROITS.
		— par GRADINS RENVERSÉS.
	Inclinaison entre 45° et l'horizontale.	Méthode par GRADINS COUCHÉS.
		— par GRANDES TAILLES.
		— par GALERIES ET PILIERS.
Filons ou couches *au-dessus* de 3^{m} de puissance.	Minerais consistants et solides.	Méthode par OUVRAGES EN TRAVERS.
		— par GALERIES ET PILIERS.
	Minerais friables ou ébouleux.	Méthode par ÉBOULEMENT.
		— par PILIERS ET REMBLAIS.

Exploitation des filons ou couches au-dessous de 3 mètres de puissance.

L'exploitation des filons métallifères fournit toujours une quantité considérable de déblais provenant des gangues et des parties stériles; comme ces déblais doivent être laissés dans la mine, il faut s'occuper dans les ateliers, non-seulement de l'abattage des roches et du soutien des excavations, mais encore de l'aménagement des déblais.

La méthode par *gradins droits*, appliquée aux gîtes dont la puissance est au-dessous de 3 mètres et dont l'inclinaison est au-dessus de 45°, nécessite d'abord la division en massifs précédemment indiquée dans les travaux préparatoires. Divisant ensuite par la pensée un de ces massifs en parallélipipèdes de 2 mètres de hauteur sur 4 mètres de longueur, on procède à leur abattage successif en plaçant autant de fronts d'abattage qu'on a dégagé de ces parallélipipèdes, et donnant à l'ensemble de l'atelier la disposition en gradins, fig. 64. A mesure qu'on avance dans l'abattage, on boise le vide qui en résulte avec des étais allant du toit au mur; ces étais, solidement assujettis dans des entailles et calés avec des coins, supportent des planchers sur lesquels on accumule les déblais stériles résultant du premier triage qui se fait dans la mine.

Le minerai trié par les mineurs eux-mêmes est descendu de

Méthodes d'abattage

Exploitation par Gradins droits et renversés.

gradins en gradins jusqu'au dernier, qui reste toujours ouvert sur le puits de service.

Dans la méthode par gradins renversés (fig. 65) la disposition est inverse, et les massifs sont attaqués par la partie inférieure. Un boisage solide est établi au-dessus de la galerie d'allongement et sur la paroi du puits de service; ce boisage doit supporter tous les déblais. Les mineurs, montés sur les remblais ou sur des planchers mobiles, entaillent les massifs en maintenant la disposition en gradins. Si la roche est peu solide, elle est soutenue par des boisages qui servent en même temps à la circulation des mineurs; ces boisages avancent avec l'entaille, parce qu'ils sont successivement enlevés pour être reportés en avant à mesure qu'ils peuvent être remplacés par les remblais.

Les méthodes par gradins ont, comme on le voit, pour avantages communs le dépouillement complet du filon; dans les deux procédés le filon évidé se trouve, après l'exploitation, rempli de déblais stériles maintenus par des lignes de boisages. Enfin, dans les deux cas, les roches se présentent toujours à l'abattage dégagées sur deux faces; les ouvriers sont constamment rassemblés, faciles à surveiller et parfaitement en sûreté; le service des transports est simple et facile.

En comparant les détails des deux méthodes, on trouve que dans les gradins renversés l'abattage est facilité par le poids des masses, les boisages abandonnés dans les déblais sont en outre moins coûteux; mais, d'autre part, le triage est difficile, parce que les minerais tombent sur les déblais, où ils peuvent se perdre, leur matière étant généralement plus fragile que les gangues. Cette considération importante suffit, dans certains cas, pour assurer la préférence aux gradins droits, sur lesquels tout peut être exactement recueilli après l'abattage, même les poussières. Enfin, dans les exploitations profondes, la méthode par gradins droits a encore l'avantage de permettre d'exploiter les massifs inférieurs sans qu'on soit obligé de percer une galerie d'allongement pour les dégager.

Le choix ne peut donc être déterminé que par les considéra-

tions spéciales qui résultent de la manière d'être des gîtes. Les gradins renversés sont d'un usage plus répandu; c'est ainsi que sont exploités la plupart des filons du Cornwall, de la Saxe, et ceux de Villefort, Pontgibaud et Poullaouen en France. On peut d'ailleurs, ainsi qu'on le fait au Hartz, combiner les deux méthodes; en réservant les gradins droits pour les parties du fond tandis que les parties supérieures sont abattues par gradins renversés.

Lorsqu'on se propose d'exploiter une couche ou un filon dont l'inclinaison est au-dessous de 45° et dont la puissance est au-dessous de 3 mètres, on peut choisir entre trois méthodes connues sous les dénominations de *gradins couchés*, *grandes tailles*, *galeries et piliers*.

La première de ces méthodes ne diffère de celle des gradins renversés qu'en ce que les gradins se trouvent couchés suivant le plan de la masse minérale; les ouvriers mineurs, au lieu de s'élever sur des remblais ou sur des planchers, marchent sur le mur du gîte. Ainsi, la division préparatoire en massifs ayant été pratiquée comme d'habitude, on abat un de ces massifs en le découpant en gradins, boisant sur autant de lignes qu'il est nécessaire, et accumulant les déblais entre les boisages. Ces déblais, au lieu d'être portés sur des planchers étayés, reposent sur le mur du gîte. Les gradins ont le plus souvent, dans ce genre de travail, 4 mètres dans les deux sens, et pour hauteur celle de la couche exploitée.

La couche de schiste cuivreux du pays de Mansfeld, dite kupferschiefer, est exploitée suivant cette méthode. Le schiste n'ayant que de 30 à 50 centimètres de puissance, on le dégage en *havant* le mur, puis on chasse des coins dans le toit ou bien on y place des coups de mine. Les galeries de service ont la hauteur habituelle de 1 m. 60; mais les travaux en gradins n'ont que de m. 0,70 à m. 0,90. L'inclinaison facilite d'ailleurs l'entrée de ces tailles étroites, et les ouvriers, se couchant sur le côté, peuvent encore travailler assez rapidement. Ce procédé d'abattage est ce qu'on appelle travailler à col tordu; il faut une cer-

taine habitude aux mineurs pour pratiquer, dans cette position difficile, les havages qui ont de m. 0,60 à 1 mètre de profondeur : mais une fois qu'ils l'ont acquise, le travail peut être conduit assez rapidement. Ainsi, dans les districts de Mansfeld et Sangerhausen, 1500 ouvriers mineurs abattent de cette manière environ 260,000 quintaux métriques de kupferschiefer par année.

La méthode par *grandes tailles* diffère complétement des précédentes. Dans cette méthode on place des ouvriers de front suivant toute la longueur d'un massif ; ces ouvriers abattent à la fois sur toute la ligne en procédant au dépouillement de la couche métallifère, boisant derrière eux avec des étais à mesure qu'ils avancent, puis rejetant les déblais entre les boisages.

Cette méthode a des avantages particuliers ; elle est rapide, permet d'employer beaucoup de monde, oblige tous les ouvriers à marcher du même train dans le travail, et ne laisse pas au toit le temps de se déliter. S'il existe quelques parties stériles, on peut les négliger dans l'abattage et les laisser comme piliers ; puis enfin elle permet plus qu'aucune autre de concentrer les ateliers et de n'entretenir que le moins possible de travaux souterrains. Mais il est évident aussi qu'elle ne peut être employée que pour des matières assez tendres pour être facilement entaillées au pic, le dégagement successif des masses ne facilitant pas l'abattage. On exploite, par exemple, de cette manière les couches de calcaire argileux pénétré de galène qui se trouvent aux environs de Tarnowitz en Silésie. L'abattage s'y fait, comme d'habitude, en havant le mur, la couche n'ayant que m. 0,70 d'épaisseur. Chaque mineur opère sur un front de 4 mètres ; de telle sorte qu'un massif de 100 mètres compris entre deux galeries d'allongement est enlevé par 25 mineurs.

La méthode par *galeries* et *piliers* consiste à diviser le massif qu'on veut attaquer de manière à y pénétrer par une série de galeries qui laissent entre elles une partie pleine suffisante pour supporter le toit. Ainsi on laissera 5 mètres de plein et on percera autant de galeries de 3 mètres, poussées parallèlement entre elles, qu'il y aura de fois 8 mètres dans tout le massif. On recoupera en-

suite toutes ces galeries par autant de galeries perpendiculaires aux premières et disposées de la même manière, de sorte qu'on ne laissera plus pour supporter le toit que des piliers de 5 mètres sur 5 mètres, espacés de 3 mètres et disposés en damier. Si la couche est inclinée, on donne au pilier une plus grande longueur dans le sens de l'inclinaison que dans le sens de la direction, afin d'éviter tout effet de glissement. Cette méthode suppose qu'on enlève presque toute la matière abattue, et que, n'ayant par conséquent que peu ou point de déblais pour soutenir le toit, qu'il serait d'ailleurs trop coûteux de soutenir seulement avec des bois, on n'y emploie que des piliers de la couche elle-même. On exploite de cette manière la plupart des couches de minerais de fer, en ayant soin d'espacer et diriger les galeries de manière à enlever les parties les plus riches du massif et à laisser en piliers les parties les plus pauvres; ce qui donne toujours à ces exploitations une assez grande irrégularité.

Lorsque la substance ainsi exploitée sans remblais a une valeur assez grande pour qu'on ait avantage à enlever les piliers eux-mêmes, on peut le faire en descendant des remblais du jour et remplissant les vides avec des précautions que nous détaillerons plus loin lorsque nous décrirons l'exploitation de la houille. Cette opération, qu'on appelle *dépilage*, est très-dangereuse même lorsque la roche est solide, parce que des affaissements du sol se produisent subitement; on ne doit donc y procéder qu'en cas de nécessité absolue et s'entourer de toutes les précautions de soutènement.

Ces cinq méthodes laissent un choix à faire à l'ingénieur dans l'exploitation des filons ou couches au-dessous de 3 mètres; mais, outre qu'il sera d'abord guidé dans ce choix par l'inclinaison du gîte, la composition de ce gîte l'aura elle-même bientôt fixé. En effet, s'il n'a pas de remblais dans la mine, il est conduit à préférer les travaux par galeries et piliers; s'il en a suffisamment, la consistance plus ou moins grande de la matière, son épaisseur, la nature du mur le détermineront entre les gradins ou les grandes tailles. Cette dernière méthode ne doit en effet être préférée que si la matière est facile, ou si la nature du mur permet de dégager par

le havage les masses supérieures, dont l'abattage en ligne devient alors très-simple et très-facile. Toutes ces méthodes renferment d'ailleurs des éléments de sûreté tels que les mineurs n'y peuvent courir aucun danger qui soit le résultat du mode de travail.

Nous nous bornerons, pour le moment, à ces données générales sur les méthodes d'exploitation appliquées aux filons ou couches dont la puissance est au-dessous de 3 mètres. Ces méthodes, sauf celle des gradins droits, sont employées pour les couches de houille, et les détails en seront développés d'une manière plus complète en traitant de l'exploitation de ces couches.

Exploitation des gîtes au-dessus de 3 mètres de puissance.

L'exploitation n'a plus cette marche assurée et cette simplicité lorsque les gîtes sont en couches ou filons très-puissants ou qu'ils affectent la forme d'amas et de stocwerks. En effet, au delà de 3 mètres, il devient impossible de placer des bois du toit au mur, et il faut nécessairement supporter les excavations par la matière elle-même ou par de véritables constructions faites avec les remblais. Les difficultés croissent surtout lorsque les matières sont ébouleuses, ce qui a déterminé, pour le choix des méthodes, une première distinction entre les roches solides et les roches ébouleuses. Examinons d'abord le cas des matières consistantes.

La méthode par *ouvrages en travers* consiste à ouvrir au mur de la masse minérale une galerie d'allongement qui en suit toutes les ondulations, puis à pratiquer dans cette galerie des tailles d'exploitation perpendiculaires à la direction moyenne de la galerie d'allongement, et, par conséquent, dirigées du toit au mur. Ces tailles sont d'abord séparées par des massifs pleins qui font l'office de piliers pour soutenir les masses supérieures; de plus elles sont elles-mêmes divisées en galeries accolées et successives dont l'avancement inégal forme des gradins horizontaux; puis enfin elles sont remblayées à mesure qu'elles avancent, de manière qu'à la fin du travail, c'est-à-dire lorsque le mur est atteint, elles soient complétement remplies. Lorsqu'on a enlevé et

remblayé ces premières tailles ouvertes dans le gîte, on attaque les massifs intermédiaires eux-mêmes et l'on arrive à enlever dans le gîte toute une tranche horizontale, en lui substituant une tranche de remblais. Un premier étage étant ainsi enlevé et remblayé, on s'élève sur les remblais et on procède de la même manière à l'enlèvement d'une seconde tranche; on passe ensuite à une troisième tranche, et ainsi de suite jusqu'à l'épuisement du gîte, qui par conséquent doit avoir été attaqué aussi bas que possible.

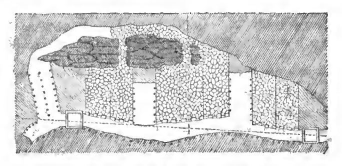


Fig. 66. *Exploitation par ouvrages en travers*

Le plan ci-joint, qui représente l'exploitation par ouvrages en travers d'un filon argentifère de Schemnitz en Hongrie, résume tous ces détails. Le filon est puissant de 10 mètres et incliné de 60°; les tailles sont de 9 mètres et ouvertes par trois galeries successives de 3 mètres chacune. S'il se rencontre quelque partie stérile, on la laisse en pilier et on la tourne par les excavations. Le triage est fait dans la mine de manière à y laisser les remblais nécessaires, et, dans les filons où le minerai est à la fois solide et régulièrement réparti, on dispose les tailles et les remblais de manière a donner à la section la forme d'ouvrages en gradins renversés menés du toit au mur, ainsi que l'indique la fig. 67. Une même galerie d'allongement sert pour l'exploitation de plusieurs tranches;

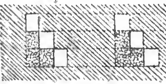


Fig. 67. *Section transversale des tailles dans les ouvrages en travers.*

on la conserve pour cinq et dix étages superposés, en y faisant tomber le minerai par de petits puits inclinés pratiqués le long du mur. Ces galeries sont ordinairement percées dans la roche stérile afin de n'avoir pas à supporter la charge croissante des déblais.

La méthode par ouvrages en travers permet l'enlèvement complet du minerai, consomme peu de bois et est cependant aussi sûre que possible; elle peut conduire à une exploitation des plus rapides et présente des masses bien dégagées qui facilitent l'abattage. Mais elle est basée tout entière sur l'existence de déblais en quantité suffisante pour remblayer toutes les excavations et, d'après le foisonnement des roches dures, elle ne permet pas d'amener au jour plus d'un tiers des matières abattues. S'il ne manquait que peu de remblais, on pourrait sans doute en faire descendre de l'extérieur; mais si la proportion des déblais était faible ou nulle, cette méthode deviendrait coûteuse et même impossible (à moins que le minerai ne fût d'une grande valeur) et il faudrait avoir recours à la méthode par galeries et piliers.

La méthode par *galeries et piliers* consiste à exploiter une tranche par deux systèmes de galeries croisées, comme si l'on attaquait une couche horizontale ayant seulement 3 mètres de puissance. Lorsqu'un niveau est exploité, on attaque la tranche supérieure de la même manière, en ayant soin de laisser entre les deux étages un sol intermédiaire, et de faire correspondre les piliers d'un étage à ceux de l'étage inférieur, afin d'éviter l'écrasement des travaux. Lorsqu'un gîte a été ainsi découpé, on sape les piliers et on provoque l'écroulement des sols et des piliers afin de retirer encore ce qu'il est possible d'atteindre sans danger.

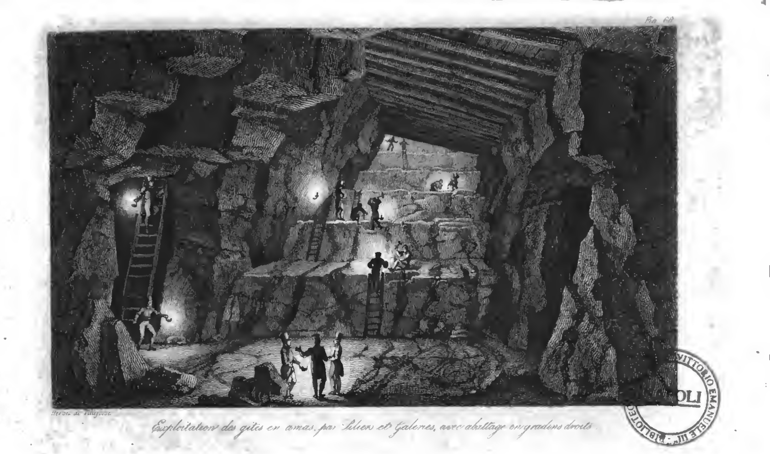
Cette méthode est évidemment très-imparfaite, puisqu'elle occasionne l'abandon d'au moins la moitié du gîte; mais c'est la seule qui puisse être employée pour les substances de peu de valeur qui ne fournissent pas de déblais et ne supporteraient pas la dépense de remblais venus de l'extérieur. Ainsi le fer oxydulé, les hématites, le fer carbonaté, le gypse, l'ardoise ne

peuvent guère être exploités souterrainement que de cette manière.

Pour réduire les pertes, il faut évidemment éviter le grand nombre des sols et par conséquent donner aux étages toute la hauteur possible. Ainsi, dans les minerais de fer, on donne 6 mètres et au delà de hauteur aux galeries et 5 mètres de largeur, en laissant aux piliers 5 mètres au moins de côté. On taille les plafonds en voûte, et on laisse 3 mètres environ d'épaisseur au sol qui sépare deux étages superposés. Le fond de ces grandes galeries est attaqué par gradins droits.

Dans les ardoisières souterraines de Fumay (Ardennes) on attaque une couche de 20 mètres de puissance inclinée de 20° à 30° en donnant aux galeries toute la hauteur du gîte et 10 mètres de largeur. Les piliers sont égaux aux excavations. Les rigoles pour l'abattage se font perpendiculairement à la stratification, et le havage ou souschèvement suivant la stratification; de sorte que les parois des galeries sont inclinées à 30°. Les cavages ou exploitations souterraines de gypse aux environs de Paris se font également par galeries qui ont jusqu'à 10 m. de hauteur soutenues par des piliers de 4 à 5 mètres. Enfin, dans beaucoup de cas, on exploite ainsi des roches calcaires pour la fabrication de la chaux ou toute autre roche pour la construction. Les nombreuses carrières creusées autour de Naples dans le peperino (brèche volcanique), les catacombes parisiennes dans le calcaire grossier, les carrières de craie de Meudon, celles de la montagne de Saint-Pierre près Maestricht également creusées dans la craie sont des exemples bien connus de ce mode de travail. Dans ces divers cas, la matière n'ayant aucune valeur en place, on ne craint pas de donner aux piliers des dimensions plus grandes que celles des galeries elles-mêmes. Ces vastes carrières souterraines finissent par présenter des séries de rues souvent un peu sinueuses, et qui cependant, lorsqu'on en considère l'ensemble, se rapportent à deux axes principaux. La figure 68 représente une de ces exploitations par deux systèmes de hautes galeries croisées à angles droits. Le fond de l'excavation est, ainsi qu'on le voit,

Fig. 68



Exploitation des gîtes en amas, par Piliers et Galeries, avec abattage en gradins droits.

divisé en gradins qui permettent d'abattre simultanément toute la paroi du fond. Les voûtes doivent être l'objet d'une attention particulière et, lorsqu'une partie donne quelque indice d'affaissement, on la soutient aussitôt par des boisages ou des portions de muraillement.

Dans les cas précédents, applicables à des roches consistantes, l'aménagement bien entendu des matières exploitées, pour obtenir un abattage facile et un enlèvement aussi complet que possible, est le but de toutes les méthodes. Pour les matières peu consistantes et ébouleuses qui se présentent en gîtes puissants, c'est la sûreté des travaux qui constitue un bon système ; cette condition, qui devient difficile à remplir, doit être placée en première ligne. Deux méthodes atteignent ce but.

Un gîte puissant et ébouleux doit être attaqué par des travaux placés en dehors du gîte et dans une roche solide ; les galeries d'allongement pour le roulage y seront également situées d'une manière plus avantageuse. Les schistes alumineux du pays de Liége, en couches puissantes inclinées de 70°, sont ainsi atteints, puis exploités par la méthode dite par *éboulement.*

Cette méthode consiste à pousser, à partir d'une galerie d'allongement placée dans le mur du gîte, des galeries de traverse, fortement boisées, et qui sont conduites jusqu'au toit du gîte ébouleux. Ces galeries sont séparées entre elles par environ 3 mètres de parties pleines ; lorsqu'elles sont arrivées au toit, on se retire en déboisant à partir du toit, et laissant ébouler la roche, qu'on enlève à mesure qu'elle arrive. Les éboulements se propagent à des hauteurs de 4 et 5 mètres, et l'on peut exploiter ainsi un étage de 5 mètres de hauteur en enlevant une grande partie de la roche ; on s'établit ensuite 6 mètres plus bas, et on procède de la même manière. On exploite donc le gîte en l'attaquant de haut en bas par étages espacés de 6 mètres, et les éboulements ne tardent pas à se propager jusqu'à la surface du sol qu'on laisse effondrer. Ce genre de travail, malgré les précautions du boisage, exige une surveillance assidue pour éviter les accidents ; il a l'avantage d'être peu coûteux, mais, d'un autre

côté, il amène dans l'intérieur des travaux les eaux de la surface, et oblige, s'il y a triage, à ne le faire qu'au jour et à extraire même les matières stériles.

La méthode *par remblais* est plus coûteuse, mais elle n'a pas les mêmes inconvénients. Très-variable dans ses procédés, elle consiste en principe à attaquer le gîte par des ouvrages d'une forme quelconque, et à remblayer immédiatement les excavations, soit avec les débris du triage, soit par des matériaux descendus de l'extérieur; puis enfin à s'élever sur un étage ainsi remblayé pour attaquer un étage supérieur. C'est l'inverse de la méthode par éboulement, puisqu'on procède de bas en haut. Le plus souvent on suit, pour la forme des ouvrages, la marche des galeries et piliers; mais, au lieu de faire des étages élevés, on ne procède que par étages de hauteur d'homme, afin d'éviter les éboulements; on remblaye immédiatement en ne laissant que les vides nécessaires au service et les boisant au besoin. Quant aux remblais, qui consistent en roches meubles, résidus des triages et lavages faits dans la mine, on les emploie même à l'état humide en les tassant comme du pisé.

C'est ainsi qu'on exploite à Bleyberg pour des couches de grès et sables peu consistants et pénétrés de galène. On procède par galeries et piliers, en laissant d'abord des piliers suffisants pour ne pas ébranler les parties supérieures, puis, après avoir extrait la galène par lavage, on construit, avec les résidus qui sortent à l'état de mortier, des murailles qui remplissent les vides entre les piliers; au bout de quelque temps, lorsque ces murailles ont acquis un peu de consistance, on attaque les piliers et on les enlève aussi. Toutes les couches n'étant pas plombifères, on laisse celles qui sont pauvres ou stériles pour servir de sols entre les divers étages; et si l'on veut exploiter deux étages superposés, on a soin que tout l'étage du fond soit remblayé; on peut même sans inconvénient y laisser quelques vides à section étroite; ces vides ne tardant pas à se combler par l'affaissement des parties supérieures qui écrasent lentement les remblais.

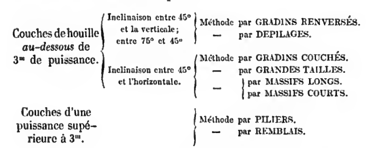
Telle est la série des méthodes à l'aide desquelles on peut exploiter tous les gîtes métallifères et toutes les roches, quelles que soient leur puissance et leur nature minéralogique. Il nous reste actuellement à indiquer quelques procédés particuliers aux mines de sel gemme et aux mines de houille ; procédés qui résultent de la nature spéciale de ces substances, et qui ont un grand intérêt en raison de l'importance de leur exploitation. En étudiant cette application particulière des méthodes générales d'exploitation, nous trouverons l'occasion de donner quelques détails pratiques sur les procédés qui sont suivis dans l'abattage en massifs, tailles ou dépilages.

Exploitation des couches de houille.

Les méthodes d'exploitation de la houille sont toutes comprises dans les méthodes générales précédemment décrites ; elles n'en diffèrent que par quelques conditions spéciales, qui sont· 1° la nécessité d'ouvrir des travaux à grande section, afin d'obtenir la houille en gros fragments et de faire le moins possible de menu, dont la valeur est toujours minime ; 2° l'avantage de n'entretenir que le moins possible d'anciens travaux, parce que la houille qui s'y trouve réservée en piliers se détériore par le contact de l'air et la pression du toit, et plus encore parce que les vieux travaux sont toujours des occasions nombreuses d'accidents, par suite de l'accumulation des eaux, des gaz délétères et des chances d'inflammation spontanée ; 3° enfin le manque de remblais provenant de l'intérieur, valeur actuelle de la houille exigeant une exploitation aussi complète que possible.

L'ensemble de ces conditions nécessite donc des méthodes d'entaille larges et rapides, un enlèvement complet de la houille, et des chantiers d'abattage indépendants les uns des autres, afin que les accidents, quelquefois si funestes dans ce genre de mines, ne puissent frapper d'un même coup toute la population souterraine.

La consistance de la houille ne varie pas tellement que le choix de la méthode puisse dépendre de cette condition ; la puissance des couches est l'élément principal de la variation des méthodes et leur inclinaison vient en seconde ligne ; on peut donc classer ces méthodes ainsi qu'il suit :



Couches de houille *au-dessous* de 3m de puissance.	Inclinaison entre 45° et la verticale ; entre 75° et 45°	Méthode par GRADINS RENVERSÉS. — par DEPILAGES.
	Inclinaison entre 45° et l'horizontale.	Méthode par GRADINS COUCHÉS. — par GRANDES TAILLES. — par MASSIFS LONGS. par MASSIFS COURTS.
Couches d'une puissance supérieure à 3m.		Méthode par PILIERS. — par REMBLAIS.

Le premier cas, de couches peu puissantes et fortement inclinées, se présente souvent dans les terrains houillers du nord de la France et de la Belgique ; la méthode par gradins droits ne peut y être appliquée parce que les ouvriers, placés sur la houille même pour le travail et les transports, la déprécieraient d'une manière notable en l'écrasant et la salissant, et parce que le triage intérieur des déblais deviendrait presque impossible. La méthode par *gradins renversés* n'a pas tous ces inconvénients ; elle ne diffère d'ailleurs de celle que nous avons décrite pour les gîtes métallifères que par les dimensions des gradins, qui ont jusqu'à 10 et 12 mètres de front. Cette dimension, qui facilite l'abattage en gros morceaux, ne doit être réduite que dans les houilles qui laissent dégager une grande quantité de grisou, parce qu'il est évident que la circulation de l'air sur un front découpé en gradins sera d'autant plus facile et plus efficace que les gradins seront plus petits. Le seul inconvénient de cette méthode appliquée à la houille est la forte consommation de bois qui en résulte.

L'abattage de la houille dans les couches minces des départements du nord se fait en havant le mur, ordinairement composé de schistes, et en détachant toute l'épaisseur de la couche

soit par l'action simultanée d'une série de coins, soit par des coups de mine placés au toit de la couche. Ce havage du mur fournit une certaine quantité de remblais qu'on dispose entre les lignes de bois pour soutenir le toit, et l'on y joint les remblais qui résultent du percement des galeries d'allongement et des galeries suivant l'inclinaison qui sont toujours nécessaires au service des transports. Mais, lorsque la couche a plus de m. 1,20 de puissance, il devient très-difficile de se procurer les remblais nécessaires au soutènement, et dans ce cas on a dû chercher une méthode moins exigeante.

Les couches de 1,20 à 3 mètres de puissance dont l'inclinaison est comprise entre 75° et 45° peuvent être exploitées par deux systèmes de galeries croisées suivies de l'enlèvement des piliers. Cette méthode, aussi complète que la précédente, a été appliquée à la couche des Communautés (Saône-et-Loire), où elle est remarquable par les détails de son exécution.

Le champ d'exploitation a d'abord été préparé par huit étages de galeries d'allongement communiquant au même puits par des galeries de traverse pratiquées dans les roches du toit et du mur, ainsi que l'indique la fig. 69. Les massifs compris entre deux étages ont ensuite été découpés par des galeries suivant l'inclinaison, chaque niveau devant être desservi par la galerie d'allongement qui lui est inférieure. Les massifs découpés ont environ 40 mètres en direction sur 20 mètres d'inclinaison, et leur enlèvement, ou dépilage, se fait de haut en bas. Soit donc un de ces étages dont la partie supérieure est supposée envahie

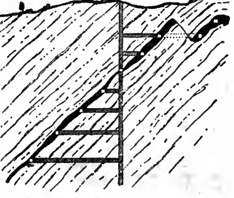


Fig. 69. *Exploitation de la couche de houille des communautés*. Échelle $\frac{1}{2000}$.

par les écrasées, les galeries de traverse dirigées N.-S. sont barrées par des murs afin d'empêcher la descente des déblais, et des dépilages latéraux réduisent à deux les faces libres d'un massif ou pilier. Ces faces libres seront par exemple celles du sud et de l'ouest (fig. 70).

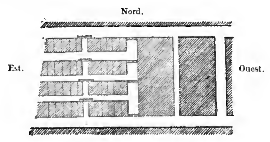


Fig. 70 *Abattage d'un pilier.* Echelle $\frac{4}{1000}$.

Pour enlever ce pilier compris entre les deux galeries d'allongement situées de l'est à l'ouest, on le traverse d'abord par des galeries montantes qu'on barre lorsqu'on a atteint les déblais qui sont supposés remplir la galerie supérieure. On recoupe ensuite la moitié du pilier par trois petites galeries d'allongement, de manière à la diviser en quatre sections; puis on attaque successivement ces sections isolées, à partir du haut, en les découpant en petits rectangles d'environ 4 mètres d'inclinaison sur 2 de direction, ayant soin de rabattre ce qui a pu rester de houille au faîte des galeries. Ce travail étant fait sur une ligne, on s'isole des déblais par un second barrage, et on procède de la même manière, toujours en descendant, jusqu'à la galerie d'allongement inférieure. On attaque ensuite de la même manière la seconde partie du pilier.

Cette marche du travail est suivie toutes les fois que le toit est ébouleux. La division de l'abattage permet de n'avoir jamais à supporter à la fois qu'une petite surface du toit, ce que l'on fait à l'aide de quelques bois que les mineurs retirent en reculant. La position inclinée de la couche facilite d'ailleurs le travail en ce que les déblais supérieurs crèvent la houille lorsque

son épaisseur est réduite à 15 ou 20 centimètres et glissent pour venir se substituer au vide. Les remblais se font ainsi d'eux-mêmes et on n'a à se préoccuper que de les arrêter par des murs à mesure qu'on bat en retraite.

Cette division du travail a l'inconvénient d'augmenter la proportion des houilles menues; aussi, lorsque le toit est solide, on procède différemment. Soit donc un autre pilier (fig. 71) analo-

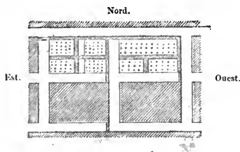


Fig. 71. *Abattage d'un pilier.* Échelle $\frac{1}{1000}$.

gue au précédent par sa position et ses dimensions. On le divise seulement en quatre piliers par une galerie en direction et par un montage intermédiaire. Dans ce montage, on ouvre vers l'ouest une taille de 5 à 6 mètres de front qui laisse à sa gauche une épaisseur d'environ 1 mètre de houille destinée à maintenir les déblais de la galerie supérieure; vers le nord, les mineurs boisent à mesure qu'ils avancent avec des étais ou chandelles disposés en lignes, laissant toujours un mur de charbon qui empêche la descente des déblais. Arrivés à l'extrémité, ils enlèvent d'abord les étais qui sont dans l'angle et se retirent successivement vers le montage intermédiaire après avoir diminué le mur de houille dont les débris tombent dans la taille avec les déblais qui les chassent devant eux de telle sorte que toute la houille peut être à peu près recueillie.

Après avoir arrêté les écrasées par un mur de remblai, on peut enlever de la même manière les autres parties du petit pilier. On modifie toutefois cette marche lorsqu'on a quelque incerti-

tude sur la position exacte des écrasées; dans ce cas on partage encore chaque subdivision par un petit montage et on procède à leur enlèvement par deux tailles aussi larges mais plus courtes que précédemment, ainsi qu'il est indiqué vers l'est.

Cette méthode de dépilage est plus large et plus rapide que la première et procure la houille en plus gros fragments. Elle permet aussi de limiter les écrasées avec autant de certitude mais exige plus de solidité dans le toit, parce qu'elle en découvre d'assez grandes surfaces qui ne sont maintenues que par des boisages. Lorsque le toit est tout à fait solide, on abat les subdivisions d'un seul coup au moyen de sept à huit mineurs agissant ainsi sur un front de 2 mètres chacun; ce cas est le plus rare parce qu'on préfère généralement de petits éboulements qu'on est maître de provoquer et qu'on peut maîtriser, à de grandes écrasées qui surprennent et peuvent déterminer des accidents. La comparaison des figures 70 et 71 indique suffisamment dans les deux cas les manières de découper et d'abattre les piliers.

En résumé, on pourra enlever, à l'aide de ces méthodes de dépilage, toute les portions de couche comprises entre les huit étages désignés fig. 68. La couche sera exploitée aussi complétement que dans la méthode par gradins renversés, sans autres remblais que ceux qui sont nécessaires pour construire les murs, et sans autres boisages que ceux qui sont indiqués pour protéger les mineurs. Ces bois sont d'ailleurs enlevés lorsque les mineurs se retirent et peuvent servir assez long-temps.

Examinons actuellement les méthodes applicables aux couches de même puissance, et dont l'inclinaison est entre 45° et l'horizontale.

Les *gradins couchés* sont employés dans les couches minces du nord, mais ils ne conviendraient pas à une couche de plus de m. 1,50, à moins qu'elle ne fournît une très-grande proportion de déblais. Dans les couches ordinaires, qui ont un mètre au plus, on fait le havage du mur et l'on entaille aussi le toit pour y chasser des coins et faire ainsi tomber à la fois toute l'épaisseur de la couche. Ce mode d'abattage fournit les remblais nécessaires.

L'avantage spécial des gradins couchés dans les environs de Mons et de Valenciennes, où les *plats* passent si souvent aux *droits* et réciproquement, c'est que, l'exploitation pouvant se faire par gradins couchés dans les plats, et par gradins renversés dans les droits, le changement de ces allures des couches n'oblige pas à changer la marche du travail.

En Belgique, dans quelques couches de moyenne épaisseur (m. 1,50), où l'on n'obtient pas de remblais, on est dans l'usage, pour suivre exactement la méthode, de soutenir le toit par une grande quantité de bois et d'enlever une partie de ces bois lorsqu'ils se trouvent à une certaine distance des tailles, de manière à laisser le toit briser les bois qui restent et s'affaisser sur le mur.

Ainsi, dans cette exploitation par gradins couchés (fig. 72),

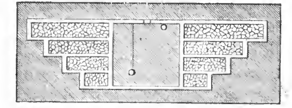


Fig. 72. *Exploitation par gradins couchés.*

après avoir atteint une couche par un puits on pousse de chaque côté une galerie d'allongement; puis, laissant un certain massif de charbon intact autour de ce puits afin de ne pas en altérer la solidité, on ouvre des ateliers d'abattage par gradins suivant la direction de la couche. Ces ateliers s'éloignent de plus en plus du puits d'extraction. Pour économiser les remblais et en même temps pour faciliter les transports, on ménage, vis-à-vis les gradins, des galeries de roulage qui suivent tantôt la direction de la couche, tantôt des lignes diagonales entre la direction et l'inclinaison; ces galeries servent à conduire les charbons des tailles à la galerie de traverse où ils descendent, en suivant l'inclinaison de

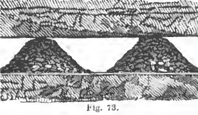
la couche, jusqu'à la galerie d'allongement qui conduit au puits d'extraction.

Dans la méthode par *grandes tailles* (fig. 74), après avoir isolé de larges massifs par deux systèmes de galeries et mis à découvert une partie suffisante de la couche, on attaque ces massifs de front, les ouvriers étant protégés par plusieurs lignes de bois et les déblais étant accumulés derrière ces lignes de bois de manière à soutenir le toit.

Les tailles doivent être dirigées de telle sorte que l'inclinaison ne gêne pas le travail. Ainsi, dans des couches dont l'inclinaison est au-dessous de 20°, on peut les conduire indifféremment suivant la direction ou suivant l'inclinaison; mais si l'inclinaison est entre 20° et 45°, il faut choisir une ligne intermédiaire pour que les ouvriers n'éprouvent pas de difficulté à monter en avançant dans la taille.

La dimension des tailles dépend uniquement du nombre d'ouvriers qu'on veut employer. Dans l'exemple représenté fig. 74 elles ont seulement 45 mètres; il en est qu'on mène sur 100 et 150 mètres de front. Lorsque les tailles ont plus de 50 à 60 mètres de front, il faut avoir soin, en entassant les déblais entre les bois, d'y ménager plusieurs voies pour le roulage de la houille depuis le front jusqu'à la galerie de service.

Lorsque le déblai manque, on emploie ce qu'on en peut obtenir pour faire des murs qui soutiennent les voies de roulage, et dans l'intérieur des tailles on se contente de faire des tas coniques, sur lesquels le toit s'affaisse lentement. Si le remblai est insuffisant, même pour cette disposition, on se borne à faire des tas dont la hauteur est dépassée par les bois qu'on laisse dans les travaux; à mesure que la taille avance, les bois cèdent à la pression croissante du toit qui vient alors poser sur les tas de déblais. Si les galeries de traînage deviennent trop basses, par suite de cet


Fig. 73.

affaissement, on entaille le toit pour leur conserver une hauteur suffisante. C'est ainsi qu'on exploite à Sarrebruck des couches de m. 1,60 à 2 mètres de puissance.

La fig. 74 indique les dispositions d'une exploitation de ce

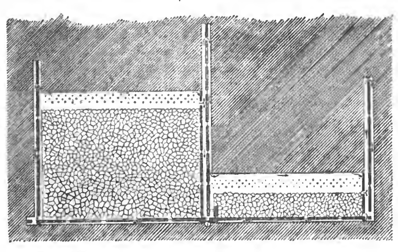


Fig. 74. *Méthode par grandes tailles.* Échelle $\frac{1}{1000}$

genre. Les voies de service sont soutenues par des lignes de murs, en sorte que les affaissements ne se font que sur les espaces marqués en remblais. Ces murs de soutènement sont préparés dans les galeries qui isolent les massifs e , de distance en distance, les lignes sont interrompues et simplement fermées par des portes ou cloisons destinées à faciliter la circulation. Le front des tailles est protégé par trois lignes de bois, qu'on retire à mesure qu'on avance et de manière à laisser le toit s'affaisser. Ces tailles n'ayant que 45 mètres de front, on n'a pas ménagé de galeries dans les remblais pour le transport des parties abattues vers le milieu ; mais c'est une disposition que l'on doit prendre dans les tailles qui ont un front plus considérable. Des galeries diagonales diminueraient évidemment les lignes de transport vers le puits d'extraction.

Le procédé des galeries et piliers se divise, pour la houille, en deux méthodes : celle des massifs longs et celle des massifs courts.

Les *massifs longs* (fig. 75) consistent en une série de tailles

Fig. 75. *Méthode par massifs longs.*

menées parallèlement et laissant entre elles des massifs pleins ou piliers longs qui les séparent dans toute leur étendue. Si le toit est solide, ces tailles auront, par exemple, 8 mètres de front et l'on donnera 4 mètres aux piliers. On augmenterait un peu la largeur de ces piliers si la houille manquait de consistance.

Les tailles sont menées suivant la direction ou suivant l'inclinaison inférieure à 20°, ou bien suivant une ligne intermédiaire si cette inclinaison passe 20°; on les isole des voies de roulage par un massif plein. Les remblais sont disposés au milieu en deux murs parallèles, de manière à laisser deux galeries suivant les piliers : on ménage également une troisième galerie entre les deux autres, et c'est cette galerie qui sert au roulage; celles qui suivent la houille des piliers devant servir à l'aérage.

Lorsqu'on a poussé les tailles aussi loin que possible des puits

de service, on enlève les piliers en battant en retraite, c'est-à-dire en commençant à dépiler les parties les plus éloignées. Ces piliers sont attaqués, et les parties enlevées successivement sont remplacées par des bois provisoires qu'on retire ensuite à mesure que l'on s'éloigne. Dans certains cas, le toit n'étant pas assez solide pour qu'on puisse dépiler complétement, on se contente de recouper les piliers longs dont on n'enlève que le tiers ou la moitié, et l'on abandonne le reste dans la mine. A Liége, où la méthode par massifs longs est très-répandue, on exploite par tailles de 12 mètres séparées par des massifs de 8 mètres, et on remblaie en grande partie avec des menus sans valeur qu'on tasse entre des murs de déblai. Il est essentiel, lorsqu'on procède ainsi, de prendre les plus grandes précautions pour éviter l'inflammation spontanée de ces menus; à cet effet on les isole du contact de l'air par des murs d'argile.

Un des avantages de cette méthode est l'isolement complet des chantiers en cas d'accident.

Les *massifs courts* ne sont que les piliers ordinaires, mais avec quelques dispositions particulières. Il y a en effet deux manières de procéder : si l'on manque absolument de remblai et si la houille n'a qu'une faible valeur, on perce les galeries croisées de 3 à 4 mètres de large, en ne donnant aux piliers que les dimensions strictement nécessaires pour supporter la pression du toit ; puis on se retire en abandonnant les piliers, c'est-à-dire le quart de la couche. Si l'on veut au contraire tout enlever, et si l'on peut se procurer quelques remblais, soit par le triage intérieur, soit même en les faisant descendre de l'extérieur, on laisse un grand excédant de force aux piliers en leur donnant, par exemple, 10 mètres dans le sens de la direction et 20 mètres dans le sens de l'inclinaison, puis on procède au dépilage. Ce dépilage doit se faire en commençant par les points les plus éloignés des puits d'extraction. On enlève ainsi à peu près tous les piliers, qui, en vertu de leur force, n'ont pas eu à souffrir de la pression du toit et fournissent du charbon presque aussi gros et aussi dur que les tailles au massif.

Si la mine est sujette à des accidents, on divise l'espace découvert par les galeries d'allongement et de traverse en *compartiments* isolés les uns des autres (fig. 76). C'est ainsi qu'on pro-

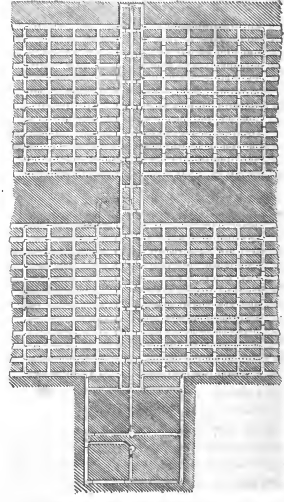


Fig. 76. *Exploitation par piliers et compartiments à Newcastle.* Échelle $\frac{1}{4000}$.

cède à Newcastle : une galerie partant des puits d'extraction et protégée par deux lignes de piliers longs qui ne sont pas abattus

marque l'axe du champ d'exploitation. Ce champ est divisé par des massifs réservés en compartiments, isolés par des portes et qui peuvent l'être par des murs aussitôt qu'un inconvénient s'y déclare par suite de la présence des eaux ou de gaz. On procède ainsi au dépilage de chaque compartiment, en respectant les massifs et piliers qui servent à l'isolement et qui ne doivent être détruits qu'à la fin de l'exploitation. Les piliers des compartiments ont 10 mètres entre les galeries parallèles à la direction, et 20 mètres entre les recoupes qui suivent l'inclinaison. Ces recoupes se font suivant la diagonale lorsque les montées passent 20° d'inclinaison, ainsi qu'il a été dit pour les méthodes précédentes.

Cette méthode par massifs courts est la plus répandue dès que les couches passent 2 mètres; elle n'exige en effet que peu de remblais, peu de bois, et présente des avantages nombreux sous le rapport de l'abattage. Nous aurons occasion de détailler la marche du travail des dépilages en traitant de l'exploitation des couches puissantes par la même méthode.

Ces divers procédés s'appliquent parfaitement dans les houillères de l'Angleterre, de la Belgique et du nord de la France, où les couches exploitées ne varient guère que de 0,60 à 2 mètres; mais, dans nos bassins du midi, où les couches de 5 et 10 mètres sont assez fréquentes, sans cependant être assez nombreuses pour qu'un bon aménagement de cette richesse minérale ne soit une condition essentielle de leur exploitation, il faut avoir recours à d'autres moyens. Nous en commencerons la description en détaillant la méthode suivie pour la couche de Blanzy (fig. 77), dont le gisement a été décrit précédemment, et dont l'exploitation a été

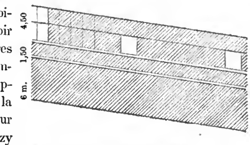


Fig. 77. *Disposition de la couche de 12 mètres à Blanzy.*

amenée à une perfection remarquable par les études de MM. Jules Chagot et Harmet.

La puissance moyenne de cette couche est de 10 à 12 mètres ; son inclinaison varie depuis 10° jusqu'à 40°. Cette couche, déjà représentée fig. 8 et 9, est divisée, fig. 77, en trois parties distinctes par deux barres de schistes placées en moyenne, l'une à 4 m. 50 du toit, l'autre à 6 mètres du mur ; de telle sorte que, n'ayant chacune que m. 0,30 d'épaisseur, elles sont elles-mêmes séparées par environ un mètre de houille.

L'exploitation est d'abord commencée sur la première barre par massifs courts ; les tailles ayant 4 mètres de largeur et 2 m. 50 de hauteur, les piliers ayant 12 mètres en direction et 25 mètres suivant l'inclinaison. Après cette première division, qui n'est en quelque sorte qu'un travail préparatoire, on attaque à la fois les piliers et le rabattage de 2 mètres laissé à la couronne des galeries. Supposons quatre piliers (fig. 78) situés vis-à-vis

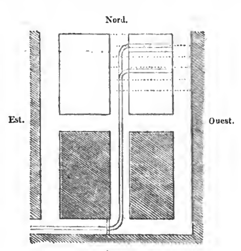


Fig. 78. *Dépilages de Blanzy*. Échelle $\frac{1}{1000}$.

des éboulements qui, vers le nord, suivent la ligne de 10 mètres. On attaque les piliers les plus rapprochés des éboulements par des havages successifs ayant 4 mètres d'avancement ; ces havages

sont suivis de l'abattage de la houille sur la hauteur de 2 m. 50. Deux lignes de bois sont établies pour soutenir le toit auquel adhère le reste de la couche. Pendant que deux mineurs commencent le troisième havage, deux autres, montés sur des chevalets, placent des coups de mine au toit de la couche; ces coups de mine ont 1 m. 50 à 2 mètres de profondeur; ils sont chargés d'un demi-kilogramme de poudre et doivent déterminer la chute de tout le couronnement au moment où les haveurs auront avancé de 2 mètres dans le pilier. Le *rabattage*, c'est-à-dire l'abattage du couronnement, est ainsi conduit aussi carrément que possible à 4 mètres de distance du front d'abattage du pilier, et tout le pilier se trouve abattu par sections rectangulaires menées parallèlement à la direction.

Le toit des excavations se soutient assez bien, et après un avancement de 4 mètres on attend sa chute, qui arrive au bout de deux ou trois jours; plus il tarde à tomber, et plus il faut redoubler de précautions, parce qu'il doit céder tout à coup. Lorsque les ouvriers sont au travail, l'oreille est pour eux le meilleur moyen de surveillance; ils entendent très-distinctement les roches se fissurer avant de tomber, et il est très-rare qu'un écrasement ait lieu sans avoir *averti*.

Un pilier de 12 mètres sur 25 mètres, y compris le rabattage, peut occuper pendant cinquante à soixante jours quatre mineurs faisant 50 hectolitres par jour. Ces mineurs posent les bois et font suivre le chemin de fer à mesure qu'ils avancent, ainsi qu'il est indiqué fig. 78.

Lorsque le pilier est enlevé, on ferme l'entrée des galeries de traverse par de bons murs afin que les écroulements, qui vont se propager lorsqu'on enlèvera le second pilier, ne les envahissent pas. Lorsqu'enfin on est parvenu, dans une série de piliers, jusqu'à la galerie d'allongement consacrée au service, on l'isole complétement des dépilages par un nouveau mur, en ayant soin de les garnir tous d'argile, afin d'empêcher le feu de se développer dans les menus et les houilles de mauvaise qualité que le triage a fait abandonner. On peut donc ainsi, par le dépilage et le ra-

battage, enlever la houille sur toute son épaisseur de 4 m. 50 au-dessus de la première barre.

L'enlèvement de ce premier étage terminé, il reste encore à exploiter plus de la moitié de la couche, pour laquelle on procède ainsi qu'il suit. Après avoir laissé les déblais de l'étage supérieur se tasser pendant environ deux années, les travaux préparatoires sont ouverts dans l'étage inférieur sur le mur de la couche. Ces travaux consistent en une galerie d'allongement et en traverses pratiquées de 10 mètres en 10 mètres, mais seulement à mesure que les dépilages avancent, afin de ne pas altérer d'avance la solidité de la houille. Dans ce but on laisse en outre aux piliers toute la longueur des traverses. La difficulté principale était d'atteindre les rabattages, mais ce travail s'exécute très-bien en un ou deux gradins qui se suivent à une distance horizontale d'environ quatre mètres.

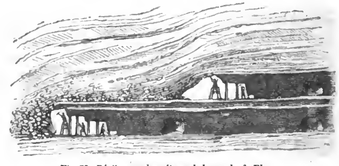


Fig. 79. *Dépilage en deux étages de la couche de Blanzy.*

Les écrasées sont beaucoup moins dangereuses dans cet étage que dans l'étage supérieur, parce qu'on est en quelque sorte maître de les provoquer quand on le veut et là où on le veut. C'est ainsi que la connaissance du terrain, la régularité des travaux rendent souvent faciles des opérations qui, au premier abord, paraissent entourées des plus grands obstacles. Le toit qui ne tombe qu'à des distances de 4 et 6 mètres dans l'étage supérieur suit de très-près les ouvriers dans l'étage inférieur; et ce mode de travail sous des roches fracturées, qui avait

d'abord paru douteux, est exécuté depuis deux ans avec un succès complet. A la surface, le terrain, lorsqu'il a une épaisseur de 30 mètres, s'affaisse doucement et également, et ne présente de fracture brusque qu'au commencement de la ligne du dépilage; la culture n'en éprouve aucun dommage, et ce n'est qu'à une épaisseur moindre que le sol est brusquement défoncé par des écroulements en entonnoirs.

La difficulté principale dans les opérations de ce genre est le danger du feu; on combat ce danger en isolant les déblais de chaque pilier abattu par des murs enduits d'argile qui bouchent toutes les traverses. Si cependant le feu se déclare, on abandonne un mur de houille de 3 à 4 mètres d'épaisseur suivant la direction et l'inclinaison, en complétant ainsi une fermeture absolue qui isole tous les déblais et étouffe le feu. Ces déblais ne tardent pas à se tasser; l'argile, transportée par les eaux d'infiltration, bouche les fissures et consolide le terrain, dans lequel on peut rentrer au besoin quelques années après.

Le détail des méthodes d'abattage est subordonné aux conditions spéciales des roches, conditions très-variables dans chaque localité et dont la connaissance est essentielle pour la réussite de ce genre de travaux. Dans l'exemple précédent, les roches qui forment le toit de la houille sont solides et se soutiennent bien; il faut seulement gouverner et arrêter les écrasées par des murs de remblai lorsque ces roches se sont fracturées. Dans certaines exploitations, à Sarrebruck et Rive-de-Gier, par exemple, les couches du toit sont moins dures, mais plus tenaces, plus liées entre elles, et jouissent d'une certaine élasticité qu'on a mise à profit pour faire les rabattages supérieurs. Ainsi, après avoir divisé et dépilé une tranche de 2 m 50 par les procédés ordinaires, on fait affaisser le terrain sur des meules de déblais compressibles; cet affaissement se fait sans rupture au moyen du sacrifice de quelques bois, et l'on peut ensuite revenir enlever l'épaisseur laissée au couronnement. Dans certains cas, on régularise l'affaissement en laissant de petits piliers de houille qui ne tardent pas à s'écraser sous la pression du toit.

Quelques couches puissantes ont été exploitées par des galeries croisées de 6 et 7 mètres de haut, pratiquées au moyen d'un abattage étagé en trois gradins droits; mais cette méthode rend le dépilage presque impossible, et lors même qu'on pourrait le faire avec quelque succès, la pression supportée par les piliers aurait ôté toute valeur à la houille qui en proviendrait.

Dans certains cas, les couches puissantes de houille, placées dans des positions fortement inclinées, ou renflées de manière à atteindre des épaisseurs de 40 et 60 mètres, présentent plutôt l'apparence d'amas que de couches régulières. Les détails que nous avons donnés précédemment sur les couches du Creuzot et de Montchanin peuvent faire regarder ces gîtes comme types de ce mode de gisement, d'autant plus difficile à exploiter que la houille y est ordinairement plus brisée, et par conséquent moins solide que dans les couches peu puissantes.

Ces gîtes furent d'abord exploités par galeries et piliers. Les étages étaient séparés par des sols de 3 mètres de houille; les galeries croisées avaient 2 mètres de haut et 2 m. 50 de largeur; les piliers étaient carrés et avaient 4 mètres de côté. Cette méthode conduisait à l'abandon intérieur des trois quarts de la masse et l'on dut promptement la laisser pour lui substituer l'emploi des remblais. On employa d'abord les remblais en montant, c'est-à-dire, qu'après avoir croisé un système de galeries, on le remblayait avec des terres venues de l'extérieur; puis on s'élevait sur ces remblais pour abattre le couronnement des galeries. De cette manière les sols étaient supprimés, et l'on pouvait extraire environ la moitié de la houille, laissant l'autre moitié en piliers. Mais il était évident qu'en se résignant à remplacer la houille par des terres empruntées au jour on pouvait enlever même les piliers, et l'on est arrivé à ce résultat par le système des *galeries contiguës*.

Ce système consiste à percer d'abord une galerie d'allongement, puis, de distance en distance, des traverses auxquelles on ne laisse pas plus de 1,50 à 2 m. de largeur, en ayant soin de remblayer toujours d'un côté et d'abattre de l'autre. C'est en quelque sorte

une série d'ouvrages en travers qui finit par substituer à une tranche de houille de 2 mètres d'épaisseur, une tranche de terres rapportées. Ce système, qui aurait paru autrefois impossible, peut être suivi aujourd'hui que l'emploi des chemins de fer dans l'intérieur des mines a rendu très-économique le transport des déblais qui sont jetés du dehors.

On emploie habituellement pour remblayer des terres argileuses prises à la surface du sol. Ces terres sont jetées par un puits spécial ou par un compartiment isolé dans un puits d'extraction ; elles sont de là transportées à chaque taille, où on les tasse. Mais, quelque soin qu'on mette à cette opération, le poids des parties supérieures qui s'affaissent les écrase et les comprime encore ; un étage de 2 mètres est quelquefois réduit à un seul mètre au bout de quelques années. Cette action, toujours répétée, fracture et divise la houille des parties supérieures, de telle sorte que toute la masse finit par passer à l'état de menu. Il serait en réalité plus avantageux de conduire l'exploitation de haut en bas en faisant écrouler les déblais supérieurs. L'expérience de Blanzy prouve que, dans la houille solide en galeries de 2 m. 50, les déblais ne crèvent à l'intérieur que lorsqu'il ne reste plus que 25 à 30 centimètres de houille au couronnement ; et comme on peut, en quelque sorte, conduire ces éboulements à volonté en perdant fort peu de houille, on pourrait aisément exploiter des étages de 3 à 4 mètres en conservant pour conduire les dépilages un rabattage proportionné à la solidité de la houille.

On voit en résumé que ces accumulations immenses de houille qui étonnent l'imagination, sont, par rapport aux méthodes d'exploitation, dans un état d'infériorité notable. Une puissance totale étant donnée dans un bassin, la distribution de cette puissance en plusieurs couches ayant seulement quelques mètres d'épaisseur sera bien plus avantageuse que son accumulation en une seule couche.

Comme mesure générale, applicable à toutes les méthodes d'exploitation, on doit veiller à ce que des piliers ne restent pas

isolés et long-temps exposés à l'action de l'air avant leur abattage. La houille s'altère dans les mines presque autant qu'à la surface; les pyrites qu'elle contient se décomposent, et l'hydroxyde de fer qui en résulte donne au charbon une teinte de rouille qui en déprécie la valeur; enfin les schistes se délitent, s'effleurissent, et le triage devient beaucoup plus difficile. Il faut donc proportionner le dégagement des massifs par les travaux préparatoires, à l'extraction qui doit être faite dans l'année.

La houille est sans contredit, parmi les minéraux utiles, celui dont l'exploitation présente les plus grandes difficultés. En effet, elle doit être extraite en très-grandes masses; sa valeur, peu considérable sur le carreau des mines, est cependant assez importante pour qu'il soit nécessaire d'en abandonner le moins possible, et, laissée dans de vieux travaux, elle est perdue à jamais; enfin des sources intérieures d'eau et de gaz délétères envahissent quelquefois les immenses surfaces souterraines mises à découvert; il a fallu toutes les ressources de la science et de l'industrie pour rendre possible l'exploitation de certains bassins qui seraient restés dans l'abandon sans des moyens spéciaux de sûreté et d'aérage et les progrès de la machine à vapeur.

Les obstacles se développent ordinairement en raison des surfaces mises à découvert; l'ingénieur peut donc déployer progressivement ses moyens d'action de manière à rester toujours maître de l'exploitation. Mais il est des accidents subits qui mettent en défaut la prudence humaine, compromettent l'existence des mineurs, et peuvent annihiler en quelques heures le fruit d'un long travail et d'un capital puissant. Les plus terribles de ces accidents sont les amas d'eau et de gaz qui, dans presque tous les bassins, se trouvent accumulés dans des travaux anciens dont la tradition n'avait pas conservé le souvenir. Lorsqu'une taille vient à déboucher dans un de ces amas, un coup de pic ou un coup de mine suffisent pour mettre les travaux en communication avec le danger, et quand il se manifeste il n'est déjà plus temps de le fuir ou de le combattre.

Pour éviter ces funestes rencontres, les mineurs se font pré-

céder dans les tailles où le danger est à craindre, par des sondages horizontaux, les uns droits, les autres divergents. Ces sondages, pour donner une sécurité suffisante, doivent avoir 10 mètres environ; si l'un d'eux atteint un vide, tout travail d'abattage doit cesser jusqu'à ce qu'on ait pu en constater la nature.

Exploitation du sel gemme.

Les conditions particulières qui déterminent les méthodes d'exploitation du sel gemme sont : 1° la nature minéralogique des gîtes qui peuvent être assez réglés et assez purs pour être abattus et extraits tels qu'ils existent, ou trop irréguliers dans leurs formes et trop mélangés d'argile (salzthon) pour être exploités directement par les méthodes déjà citées; 2° la stratification ordinaire de ces gîtes avec des couches argileuses ou calcaires qui contiennent des niveaux d'eau très-abondants et très-dangereux pour les travaux inférieurs.

Dans le cas d'une exploitation directe, il faudra laisser du sel au couronnement des excavations, afin d'éviter de découvrir les argiles qui se déliteraient au contact de l'air; en second lieu, soutenir l'exploitation par des piliers de la matière elle-même, pour éviter des mouvements du sol qui pourraient troubler le régime naturel des niveaux d'eau supérieurs et les amener dans la mine; enfin distribuer les tailles de telle sorte qu'elles puissent être au besoin isolées les unes des autres, afin que, s'il arrivait quelque irruption des eaux, le chantier envahi pût être abandonné et facilement isolé.

L'ensemble de ces conditions conduit nécessairement au système par galeries et piliers. Le sel gemme se prête d'autant mieux à ce mode de travail qu'il est naturellement solide, et c'est de cette manière qu'on exploite les salines de Wiljscka, de Norwich, et celles de l'Est de la France. Les salines de Vic et de Dieuze (Meurthe), dont nous avons décrit le gisement (chapitre troisième), peuvent nous servir de type de description pour l'application des méthodes au sel gemme, car dans aucun autre gîte

l'art du mineur n'a eu autant à faire pour se garantir du danger des eaux contenues dans les couches supérieures.

La couche de 5 mètres qui existe sous une partie de l'arrondissement de Château-Salins a été le but principal des travaux (voir le gisement du sel gemme, chapitre 3). Cette couche, attaquée à Vic par des moyens puissants, dut cependant être abandonnée après plusieurs irruptions des niveaux supérieurs. A Dieuze, elle se présenta dans de meilleures conditions, et fut préparée par le percement d'une galerie principale de 6 mètres de largeur et de 4 mètres de hauteur dans laquelle l'abattage avait lieu en deux gradins. Cette galerie fut taillée en forme de voûte, et 1 mètre de sel fut laissé à la clef pour en assurer la solidité.

A partir de cette galerie, la couche fut divisée par deux systèmes de galeries croisées et de même dimension que la précédente, en massifs carrés de 90 mètres de côté; à chaque angle de ces carrés on réserva, dans les galeries de 6 mètres, des massifs de 7 mètres de longueur et de m. 3,50 de saillie, qui étranglaient la voie et la réduisaient à m. 1,50. D'après la disposition de ces réserves (fig. 80), on pourrait, en cas d'accident, y établir

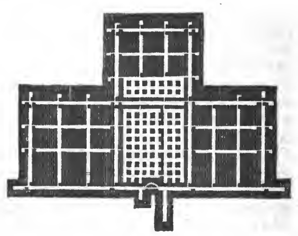


Fig. 80. *Exploitation de sel gemme à Dieuze. Méthode par galeries et piliers.*

des serrements ou digues qui isoleraient chaque massif du reste de l'exploitation.

Ces précautions prises, on découpa chaque massif de 90 mètres en neuf massifs carrés de 26 mètres de côté, par des galeries ayant toujours la même section. On eut soin de laisser encore des massifs d'isolement de 6 mètres d'épaisseur, ainsi que l'indique la fig. 80. Enfin chacun de ces massifs fut ensuite découpé de manière à ne conserver, sauf les murs d'isolement, que des piliers carrés de 5 mètres de côté, destinés à maintenir le toit, comme l'indique la partie centrale du plan ci-dessus, partie qu'on peut regarder comme complétement exploitée.

On voit que cette marche ramène la méthode à celle des *compartiments;* les murs et les piliers d'isolement en forment le caractère principal. On peut arriver ainsi à l'extraction de près des deux tiers de la couche, tous les chantiers étant constamment isolés de manière à protéger l'ensemble autant que possible. L'abattage se fait assez économiquement et toujours par gradins droits.

Les gîtes en amas sont exploités de la même manière, quoiqu'avec moins de précautions, parce qu'on n'a pas les mêmes accidents à redouter. On laisse des sols de 3 à 5 mètres entre les divers étages, et on donne 10 et 20 mètres de hauteur aux galeries. Ce sont les vastes dimensions de ces excavations qui ont fait la célébrité des mines de sel si vantées par les voyageurs. La masse de sel de Wieliscka n'a pas moins de 300 mètres d'épaisseur, dans cette épaisseur, on a creusé plusieurs étages superposés et séparés par des sols pour lesquels on réserve les parties les moins pures du gîte.

L'abattage du sel gemme est plus difficile que celui de la houille et exige des pics très-aigus; l'ouvrier, étant obligé d'avoir plusieurs pics pour la durée de son poste de travail, on a employé avec succès des pics à pointe de rechange disposés comme l'indique la fig. 81.



Fig. 81. *Pic employé dans le sel gemme.*

L'exploitation du sel mélangé d'argile, de gypse ou de calcaire, ainsi qu'il existe dans un grand nombre de localités, ne présenterait aucun avantage, si on était obligé de l'extraire au jour dans cet état de mélange. Mais comme il n'y a de triage possible que par voie de dissolution, il est plus simple de rassembler les eaux existantes dans la mine et même d'en introduire de la surface, de les saturer de sel, et de les élever ensuite; laissant ainsi au fond toutes les matières stériles.

Pour mettre cette méthode à exécution, il ne faut pas moins pénétrer dans la masse salifère; car le sel est tellement peu soluble à l'état compacte ou cristallin, qu'il faut une action très-prolongée des eaux et une surface de contact très-étendue pour qu'elles puissent le saturer.

Les salines d'Hallein, dans le pays de Salzbourg, peuvent être considérées comme présentant le type de cette méthode; une description rapide donnera idée des moyens employés et des résultats obtenus.

Le terrain salifère est contenu dans une série de collines assez élevées, à travers lesquelles on mène une galerie de recherche; de distance en distance on pousse, à droite et à gauche, des galeries qui s'embranchent à angles aigus sur la galerie principale et facilitent l'exploration du sol. Sur les points reconnus riches en sel et d'une exploitation avantageuse, on ouvre des *lacs* ou *salons*, vastes chambres destinées à devenir des ateliers de dissolution. Lorsque les parois d'une galerie ont été reconnues assez riches pour qu'il soit utile de la convertir en lac, on y introduit de l'eau douce provenant des infiltrations supérieures ou même de la surface, et on la maintient par une digue à la hauteur d'environ m. 0,60. Cette eau ronge les parois de la galerie et l'élargit; on en augmente peu à peu le volume, et l'on finit par attaquer de cette manière le plafond lui-même en élevant successivement la digue jusqu'au-dessus de son niveau.

Un lac définitivement établi présente (fig. 82) une excavation allongée, barrée par une digue. On arrive vers le fond par une petite descenderie communiquant avec les travaux supérieurs, et

par laquelle on fait descendre l'eau douce; un escalier placé dans cette descenderie permet de venir constater le niveau des eaux et l'état des parois; enfin on peut arriver en tête du lac par un autre escalier montant sur la digue. La construction de cette digue est la partie la plus importante du travail : on la compose de deux rangées de pieux recouverts par des madriers et formant une caisse dans laquelle on bat de l'argile bien choisie; cette digue est établie dans une galerie longue de 3 à 4 mètres, et ayant seulement m. 1,50 de largeur. Derrière ce premier rempart, on creuse une galerie transversale qui pénètre d'environ 3 mètres de chaque côté dans les parois, puis on établit dans cette galerie une seconde digue perpendiculaire à la première, et, comme elle, fortifiée par un boisage contigu. Un puits est établi en avant pour laisser passer le tuyau de vidange. Ce tuyau est en bois et reçoit l'eau par des caisses percées de trous; il est placé vers la partie supérieure du lac, parce que, lorsque l'eau se sature de sel, le fond du lac s'envase, tandis que le plafond s'exhausse continuellement. Une vanne ou robinet permet de vider l'eau par ce tuyau qui conduit par une galerie, soit au jour, soit à la prise d'eau des pompes.

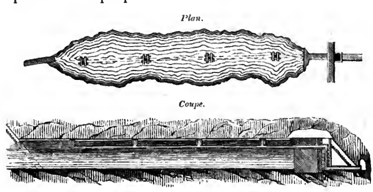


Fig. 82. *Disposition d'un lac dans les salines d'Hall in.*

Un maître mineur surveille chaque jour le niveau du lac et l'état des parois. S'il veut attaquer le plafond, il élève le niveau de l'eau de manière à y faire baigner les aspérités sans les noyer

complétement; s'il veut attaquer les parois latérales, il baisse le niveau; le sel se dissout lentement, et les roches dont il est mélangé tombent désagrégées au fond du lac. A mesure que le fond du lac s'exhausse, on exhausse également la digue et l'entaille qui est au-dessus; la principale action s'exerce sur le plafond, et le tuyau de dégorgement qui était d'abord dans la partie supérieure ne tarde pas à s'approcher du fond.

L'eau est regardée comme saturée quand elle contient 25 pour cent de sel. Arrivée à ce point de saturation, on vide complétement le lac pour le remplir de nouveau après avoir nettoyé le fond, qui est toujours très-exhaussé par les argiles délitées. Après avoir réparé la digue, les eaux sont élevées à la surface par des moyens mécaniques, ou simplement conduites par une galerie d'écoulement à des usines évaporatoires.

La mine de Durenberg renferme trente-trois lacs salés qui contiennent en moyenne vingt mille mètres cubes. Le temps de saturation est très-variable et proportionné, indépendamment de la richesse du terrain, au rapport qui existe entre les surfaces de contact et le cube total des eaux. Il y a de petits lacs qui sont saturés au bout d'un mois, et qu'on remplit cinq à six fois par an; d'autres ne sont vidés qu'une fois l'an; les plus grands exigent deux et trois années pour arriver à saturation complète.

On voit, en résumé, que ce genre d'exploitation par dissolution nécessite dans les travaux souterrains un niveau supérieur pour l'entrée des eaux douces, et un niveau inférieur pour la sortie des eaux salées. Il faut avoir soin d'isoler les eaux sur lesquelles on agit des eaux d'infiltration, qui pourraient apporter des perturbations dans le régime adopté. Deux lacs doivent toujours être séparés par 30 mètres dans le plan horizontal, et 10 mètres dans le plan vertical.

On exploite à Bex, dans le canton de Vaux, une roche calcaire pénétrée de sel gemme. Cette roche n'ayant pas, comme les argiles, la propriété de se déliter dans l'eau, on l'abat et on la concasse en fragments qui sont entassés dans des cavités disposées pour y établir des lacs; l'eau pénètre dans les vides qui

séparent chaque fragment et dissout le sel. Ce moyen est en quelque sorte mixte, car il est composé tout à la fois de la méthode par abattage direct et de la méthode par dissolution.

Lorsque des cavités souterraines, naturelles ou artificielles existent dans un terrain salifère, ces cavités sont ordinairement noyées par des eaux supérieures qui s'y saturent. On peut alors mettre à profit cette disposition et y exploiter les eaux en les atteignant par des sondages de 20 à 25 centimètres; on descend ensuite dans les trous de sonde des pompes élévatoires en cuivre qui restent suspendues à l'orifice par la colonne de tuyau dans laquelle se trouve la tringle du piston. Si l'on a soin que la pompe se trouve descendue au-dessous des niveaux d'eau douce qui peuvent se trouver dans les couches supérieures, son action élèvera seulement les eaux salées. Cette méthode est employée en Souabe.

Lorsque par l'abattage direct on aura enlevé la moitié ou les deux tiers du sel gemme, on peut encore continuer l'exploitation par dissolution et procéder ainsi à un véritable dépilage.

CHAPITRE NEUVIÈME.

BOISAGE ET MURAILLEMENT DES TRAVAUX DE MINES.

Lorsque des travaux souterrains sont pratiqués dans les roches solides dont la nature minéralogique est telle qu'elles résistent à la fois à la décomposition et à l'action des eaux, les excavations se soutiennent naturellement et il suffit de maintenir les voûtes soit par des piliers de la matière elle-même, soit par des murs de remblais dont les dispositions ont été suffisamment indiquées dans les diverses méthodes d'exploitation. Mais, dans la plupart des cas, les roches sont fissurées, et une fois entaillées, elles se fissurent encore davantage; de plus elles se renflent et se dilatent par le contact de l'air humide et de l'eau; en sorte que si elles n'étaient soutenues par des moyens spéciaux, les voûtes s'ébouleraient promptement, ou les parois se resserreraient par l'effet des poussées latérales et du renflement des roches. C'est ainsi que la plupart des excavations dont la date est ancienne sont aujourd'hui comblées. Mais il ne faut pas attendre que ces effets se produisent pour les combattre, car les efforts qui amènent les éboulements ou les resserrements vont toujours en croissant; et il est souvent plus difficile et plus coûteux de rentrer dans des travaux ainsi comblés que d'en excaver de nouveaux. Il faut donc prévenir l'altération des roches avant que ces effets n'aient commencé à se manifester et les maintenir dans leur position première. La pratique fait connaître assez rapidement les roches qui ont besoin de soutènement, et, pour exécuter ce soutènement, les mineurs emploient le *boisage* et le *muraillement*, suivant la forme des travaux, la nature minéralogique des roches et les convenances locales.

Les bois sont très-rarement employés dans les mines pour ré-

sister en vertu de leur *force absolue*, c'est-à-dire à deux efforts agissant en sens inverse et tendant à provoquer la rupture par l'extension des fibres. Le seul cas de cet emploi est peut-être celui des épuisements où le bois est employé comme tirant de pompes. Dans les boisages ordinaires, les pièces résistent presque toujours en vertu de leur résistance *relative*; c'est-à-dire que les extrémités, étant fixes, sont sollicitées par des efforts agissant entre ces points pour les faire fléchir. En effet la résistance à l'écrasement (résistance *absolue négative*) ne s'exerce que lorsque la longueur des pièces est au-dessous de cinq à six fois leur diamètre; autrement il y a flexion, c'est-à-dire transformation de ce mode de résistance, en résistance relative qui est toujours beaucoup moindre.

Dans les mines on peut rarement calculer l'effort que les bois auront à supporter; ce n'est donc que par tâtonnement et par habitude qu'on arrive à déterminer les conditions de résistance. Comme d'ailleurs, dans les boisages permanents, on veut non-seulement prévenir la rupture, mais même la flexion des bois, on emploie toujours un très-grand excès de force. Cet excès est encore nécessité par cette considération, que les pièces doivent être assez fortes et assez multipliées pour prévenir tout accident résultant de l'altération d'une partie d'entre elles. Ces diverses conditions, jointes à la nécessité de se procurer des bois en grande quantité et d'une manière continue (ce qui en limite l'échantillonnage à des dimensions assez faibles), ont déterminé des données purement pratiques pour les diverses circonstances qui se présentent dans les mines.

On sait que les bois se composent de couches concentriques; celles de l'intérieur sont plus résistantes que l'aubier qui constitue la surface extérieure, bien qu'on puisse rendre l'aubier lui-même plus compacte et plus fort en écorçant sur pied, plusieurs mois avant de les abattre, les arbres destinés au boisage des mines. Les pièces doivent être toujours écorcées avec soin avant leur emploi, car les parties d'écorce adhérentes en hâtent singulièrement l'altération et en diminuent la durée. Les bois doivent, autant que

possible être employés ronds et entiers. Les plus jeunes sont les meilleurs; les vieux, étant moins compactes, sont perméables à l'eau et pourrissent rapidement. Les procédés récemment découverts pour augmenter la dureté des bois et les préserver de la carie, en leur faisant absorber du pyrolignite de fer ou d'autres dissolutions par des incisions faites à la base du tronc, n'ont pas encore été essayés dans les mines; l'application de ces procédés si simples et dont l'efficacité paraît aujourd'hui prouvée, serait cependant du plus grand intérêt dans la plupart des pays de mines, et surtout dans nos houillères du Nord, où tant d'ouvrages importants sont exécutés en bois.

Le chêne et le sapin rouge sont les bois les plus résistants; viennent ensuite le hêtre, le pin et le sapin blanc.

Pour empêcher l'eau de s'infiltrer dans le tissu des bois, il faut y faire le moins de coupures possible. Celles qu'on est obligé d'y pratiquer doivent être recouvertes, dans les assemblages, par les parties adjacentes; il serait même bon de les goudronner à chaud. Il faut éviter les traits de scie, qui laissent des surfaces inégales et spongieuses qui pourraient retenir les eaux; il est donc avantageux de ne travailler les bois qu'à la hache ou à l'herminette, ou du moins de recouper les surfaces sciées avec un instrument tranchant.

A ces conditions générales il faut joindre les principes suivants : 1° disposer les boisages de manière que les pièces soient aussi courtes que possible; 2° encastrer solidement les extrémités de chacune, et établir ainsi les boisages dans un état de tension général; 3° éviter de faire porter la charge sur un seul point d'une pièce toutes les fois qu'on peut répartir cette charge sur toute sa longueur; 4° si l'on emploie des bois refendus, c'est-à-dire demi-cylindriques, faire porter la face refendue contre les roches. Enfin il faut éviter que les boisages intérieurs soient soumis à des alternatives de sécheresse et d'humidité; ces alternatives détériorent rapidement les bois, et, avec quelques précautions, il est toujours facile de maintenir les diverses parties des travaux souterrains dans un état constamment sec ou humide.

Boisage des galeries et des tailles.

On peut avoir à boiser, pour soutènement : dans des galeries, dans des tailles d'exploitation ou dans des puits; enfin, outre le soutènement, le boisage peut encore avoir pour but de contenir des eaux. Nous examinerons successivement ces divers cas.

Lorsqu'on perce une galerie, même dans un terrain peu solide, on peut généralement p'nétrer de plus d'un mètre sans aucun soutènement, et boiser par conséquent pas à pas à mesure qu'on avance. Supposons d'abord que les quatre faces de la galerie, le toit, le mur et les parois latérales, aient besoin de soutènement; il faudra y établir ce qu'on appelle un boisage complet, composé de *cadres* et de *garnissages*. Chaque cadre complet est formé de quatre pièces : un *chapeau* ou corniche, placé au faîte de la galerie; deux *montants*, ordinairement un peu inclinés pour diminuer la portée du chapeau; une *sole*, ou semelle placée sur le sol, et servant de base aux montants (fig. 83).



Fig. 83. *Boisage complet.*



Fig. 84. *Boisage sans sole.*

Tous les bois qui composent le cadre doivent être écorcés, ainsi qu'il a été dit; leurs assemblages, très-variables dans leurs formes, se font le plus souvent à mi-bois, de manière que les extrémités de chaque pièce se recouvrent exactement sans se dépasser. Le chapeau se fait avec les bois les plus forts; son diamètre

ordinaire est de m. 0,20; celui des montants est en moyenne de m. 0,16; l'extrémité la plus forte est ordinairement placée vers le chapeau. La sole reçoit toute la base des montants par une seule entaille, et la galerie est légèrement creusée en dessous, afin qu'elle ne porte sur la roche que par les extrémités.

L'espacement des cadres dépend de la poussée plus ou moins grande du terrain, et varie en moyenne de m. 0,65 à m. 1,33. Il faut donc soutenir les parties de roche laissées à découvert entre les cadres, au moyen de bois de garnissage appuyés sur deux d'entre eux. Ces bois sont de fortes planches, ou mieux encore des bois ronds simplement refendus, dont on place la partie convexe au dehors et la partie plane contre la roche.

Ces bois doivent avoir pour longueur minimum, l'espacement de deux cadres d'axe en axe, augmenté d'une fois le diamètre des montants, afin qu'ils puissent s'appuyer à la fois sur les deux cadres, et soutenir ainsi les portions de roche intermédiaires. On remblaie les petits vides qui existent entre les parois et les bois; puis on chasse des coins entre les garnissages et les cadres partout où il est nécessaire, pour établir l'ensemble du boisage dans un état de tension générale contre les parois. Cet état de tension empêche les mouvements partiels et l'irrégularité des pressions, causes ordinaires des ruptures.

Il n'est pas toujours nécessaire que les boisages soient établis d'une manière aussi complète. Lorsque le sol est assez solide pour que l'on puisse supprimer les semelles des cadres, on encastre simplement la base des montants dans des entailles (fig. 84); d'autres fois une des parois sera assez solide pour qu'on n'établisse qu'un demi-boisage (fig. 85); enfin il arrive encore dans les filons que le faîte seul a besoin de soutien, les épontes étant saines et solides; dès lors on encastre simplement des chapeaux dans des entailles ou *potelles* que l'on pratique dans la roche pour en recevoir les deux extrémités (fig. 86). Quant aux bois de garnissage, on les emploie contigus si la roche est ébouleuse, et plus ou moins écartés si elle a quelque solidité, en proportionnant leur

nombre, sur chacune des surfaces de la galerie, à l'état plus ou moins fissuré de la roche.



Fig. 85. *Demi-boisage.*

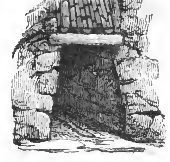


Fig. 86. *Boisage de faîte.*

Dans quelques circonstances les dimensions des galeries et les poussées du faîte ou des parois exigent l'établissement de boisages renforcés dont les dispositions sont analogues à celles des figures 87 et 88.





Fig. 87. *Boisage renforcé dans les galeries larges.*



Fig. 88. *Boisage renforcé contre des poussées latérales.*

Quelle que soit la forme du boisage, les cadres doivent être placés bien perpendiculairement à la direction de la galerie; ils seront donc inclinés dans une descenderie ou dans un montage,

de manière à soutenir perpendiculairement l'effort du toit et du mur ; sans cette précaution, ils seraient exposés à glisser sous l'effort, et il en résulterait la chute subite du boisage et l'écroulement du faîte ou des parois. Un cadre dont les pièces commencent à ployer doit être immédiatement renforcé ou remplacé.

Lorsqu'une galerie doit être percée dans un terrain ébouleux, il faut que le boisage précède, en partie du moins, l'excavation. En effet, dans des sables mouvants ou des argiles coulantes, il serait impossible, malgré toutes les précautions, d'avancer comme précédemment, en excavant d'abord et boisant ensuite. Les parois latérales et le faîte, s'éboulant d'une manière continue, entretiendraient toujours un talus de matériaux meubles, remplacés par d'autres immédiatement après leur enlèvement, et le percement deviendrait d'autant plus impossible et dangereux que ce premier enlèvement aurait détruit le peu de cohésion de la roche. Dans ce cas, le boisage doit en quelque sorte précéder l'excavation.

Il faut, pour cela, placer à l'entrée de la roche ébouleuse un cadre bien solide (fig. 89) ; suivant les arêtes extérieures de ce cadre, on chassera à coups de masse des coins plats, divergents et contigus d'environ un mètre de longueur. Ces coins forment à l'avance dans la roche un garnissage évasé. Lorsqu'on vient ensuite à creuser pour avancer la galerie, les terres poussant vers l'excavation et pesant sur les coins, ceux-ci soutiennent l'effort et se rapprochent de la direction normale à la position du cadre. Avant que cette direction normale soit atteinte, on se hâte de placer un autre cadre, en renforçant au besoin par des claies ou des bois contigus le premier garnissage formé par les coins divergents.

Fig 89.

Les coins ainsi employés doivent être en bois dur et un peu

vert; une courte pratique indique bientôt quelles sont les dimensions les plus convenables au terrain dans lequel on opère. Enfin, quant à la distance des cadres, elle est évidemment beaucoup moindre que dans les premiers boisages ; il est même telles circonstances où ils doivent être contigus.

Le boisage dans l'intérieur des tailles, n'étant que provisoire, doit toujours être très-simple. Le plus souvent il consiste en étais placés perpendiculairement du toit au mur et serrés au moyen d'une planche en forme de coin qui sert à caler la base ou le sommet. Dans les tailles qui n'ont qu'un mètre de hauteur, des étais de m. 0,12 à 0,15 de diamètre, alignés à des distances de m. 1,50, suffisent ordinairement pour donner toute sécurité. Dans les tailles élevées on emploie des étais de m. 0,20 à 0,30 de diamètre, alignés et serrant de fortes planches, ou plutôt des madriers contre le toit; ces étais doivent aussi être calés perpendiculairement au plan de la couche ou filon. Dans un boisage ainsi disposé, les roches stratifiées du toit sont soutenues par les madriers appuyés eux-mêmes sur les étais, et ne peuvent se fendre, se diviser en écailles et s'écrouler sans que la flexion ou fracture des bois avertisse les ouvriers assez promptement pour qu'ils aient le temps de se retirer.

Lorsque dans des tailles ainsi boisées on bat en retraite, il est facile de retirer sans danger environ la moitié des bois en desserrant les coins de la base; le reste est enlevé au moyen de cordes, et doit même être sacrifié, si le terrain est tel que cet enlèvement ne puisse se faire sans péril. Ces boisages étant fort simples et très-importants pour la sûreté des mineurs, on leur en confie toujours la pose et la disposition.

Lorsque les boisages doivent supporter des déblais, comme par exemple, dans les galeries placées au-dessous d'ouvrages en gradins renversés (fig. 90), les bois, toujours établis perpendiculairement au toit et au mur, sont butés par une extrémité dans une entaille et par l'autre contre un coin disposé de telle sorte que la charge augmente le serrage. La longueur des bois doit toujours être plus grande que la distance entre le toit et le mur, de

sorte qu'ils doivent être refoulés ou brisés avant d'échapper. Enfin, si la charge est forte ou si une pièce vient à fléchir, on la soutient par des contrefiches appuyées contre les parois inférieures (fig. 91).



Fig. 90. *Boisage d'une galerie sous les déblais.*

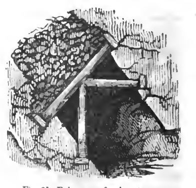


Fig. 91. *Boisage renforcé soutenant des déblais.*

Boisage des puits.

Le boisage des puits a les plus grandes analogies avec celui des galeries et se compose comme lui de cadres et de garnissages. Les cadres sont formés de deux pièces longues dites pièces *porteuses*, et de deux plus courtes entaillées et superposées aux premières. Les saillies des pièces porteuses sont engagées dans des entailles ou *potelles* pratiquées dans la roche, et les cadres sont ainsi placés dans le puits à des distances de m. 0,60 à 1,33 suivant la consistance des roches. A mesure qu'on pose les cadres, on chasse derrière eux des bois de garnissage, portant à la fois sur deux cadres, et serrés comme dans les galeries par des coins qui établissent le boisage dans un état de tension générale contre les parois. Pour augmenter la solidarité de tout le boisage, on relie les cadres entre eux en clouant et chevillant des planches sur les faces intérieures. Ces planches sont appelées *croisées* lorsqu'elles n'ont d'autre but que d'établir l'unité du boisage, et *coulants* lorsqu'on a principalement en vue de faciliter le mouvement des bennes ou tonnes d'extraction dans le puits, en les

empêchant de s'accrocher au boisage. Enfin, à l'orifice du puits, on place un cadre dans lequel les abouts des pièces ont des saillies de m. 0,60 environ, et qui est assez fort pour supporter en partie le boisage inférieur qui se trouve lié à ce premier cadre par les croisées.

La forme et les dimensions des puits sont sujettes à beaucoup plus de variations que celles des galeries. Les puits carrés de m. 1,60 de côté peuvent être considérés, sous le rapport de la section, comme les plus petits qu'on fonce actuellement. Le plus souvent les puits sont rectangulaires et ont en largeur m. 1,30 sur 2, 3 et 4 mètres de longueur. Dans le fonçage de ces puits il faut avoir soin de les orienter de telle sorte que les faces les plus longues soient celles où le terrain tend moins à se désagréger et à pousser; par ce moyen, les pièces porteuses du boisage, étant les plus courtes et se trouvant engagées dans les parois les plus solides, l'ensemble se trouve dans les meilleures conditions de puissance. On divise habituellement les puits rectangulaires en plusieurs compartiments suivant les usages du service, soit même pour séparer seulement la benne descendante de la benne mon-

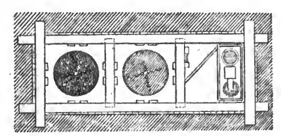


Fig. 92. *Boisage d'un puits rectangulaire.*

tante. Cette division augmente la solidité du boisage; les bois avec lesquels se font les séparations, étant engagés à tenons et mortaises sur les longues pièces de chaque cadre, diminuent leur portée. Des croisées sont également chevillées sur ces pièces (fig. 92).

Les formes octogones ou décagones sont surtout réservées pour

les grands puits de 3 à 4 mètres de diamètre et pour les cas où, la poussée des terrains étant très-active, on est obligé de se rapprocher autant que possible de la forme circulaire qui serait d'ailleurs d'une exécution difficile pour le boisage. Ces puits sont ordinairement boisés à cadres contigus dont les pièces superposées sont assemblées simplement à onglets ; à des distances de **5** à **6** mètres, on place des cadres porteurs engagés dans les parties les plus solides de la roche. Les bois de ces cadres contigus sont équarris au moins sur les faces jointives.

Les puits inclinés sont généralement rectangulaires et se boisent comme il a été dit plus haut. De même que dans les galeries inclinées, les cadres doivent être bien exactement perpendiculaires à l'inclinaison, afin qu'ils ne soient pas exposés à glisser par l'effet de la poussée des parois.

L'orifice d'un puits doit toujours être exhaussé au-dessus du niveau du sol environnant; cette disposition facilite le chargement des matières extraites, leur amoncellement, et au besoin l'écoulement des eaux extraites. La surface ainsi surexhaussée de l'orifice du puits est ce qu'on appelle la *halde*.

Lorsqu'en un ou plusieurs niveaux, un puits est rencontré par des galeries, on exhausse les galeries, et souvent même on augmente leur largeur pour établir des *chambres d'accrochage*. Ces chambres sont destinées à recevoir, par les voies de roulage, les matières extraites dans les tailles et à les charger dans les bennes. A l'étage inférieur le puits est foncé de plusieurs mètres en contre-bas du sol de la chambre d'accrochage, de manière à former un *puisard* où s'accumulent les eaux. Ce puisard reçoit également les débris de toute espèce qui tombent dans le puits; ce qui en nécessite le curage à certaines époques.

Les galeries étant de la même largeur que le puits, les cadres des chambres d'accrochage sont butés contre les cadres horizontaux du puits. On rend le tout ferme et solidaire au moyen de contre-fiches qui soutiennent le dernier cadre vertical contre la paroi opposée du puits.

Les boisages des puits sont d'ailleurs soumis à plus de varia-

tions encore que ceux des galeries. Entre les grands puits décagones à cadres contigus, et les petits puits ronds, creusés dans nos minières, boisés avec des arbres verts roulés et des branchages, il y a une différence qui indique suffisamment qu'outre la considération des difficultés du terrain, l'armature d'un puits doit être proportionnée à sa durée et à l'importance des services qu'il est appelé à rendre.

Lorsque dans le fonçage d'un puits on doit traverser une couche de sables mouvants ou d'argile coulante, les procédés varient suivant que ce travail doit être exécuté au jour ou à une certaine profondeur.

Le moyen le plus simple, d'après ce qui a été dit précédemment pour le percement des galeries dans les mêmes circonstances, est d'employer les coins divergents. Ce moyen est même plus facilement exécutable s'il s'agit d'un puits, parce que la pression étant égale sur toutes les parois, la divergence des coins contigus est uniforme, et la position des ouvriers plus commode pour les enfoncer. Enfin ce procédé est le seul qui permette de traverser des couches très-puissantes, puisqu'il peut se continuer indéfiniment.

Lorsque la couche de terrain meuble est à la surface et que le puits est à grande section, ce qui arrive par exemple pour la couche de sables mouvants que l'on doit souvent traverser dans le département du Nord, avant d'atteindre le terrain houiller, on peut employer des moyens plus larges. Ainsi, après avoir fixé bien horizontalement un cadre à l'entrée de la couche meuble, on enfonce verticalement tout autour de ce cadre, et à l'aide d'un mouton, des palplanches contiguës, et même jointives au moyen d'une rainure. Cette armature, circonscrite au cadre, soutient le terrain, qu'on peut dès lors creuser en soutenant les palplanches par d'autres cadres à mesure qu'on les découvre en approfondissant. Si, au bout de ces premières palplanches, la couche n'est pas encore traversée, on place un nouveau cadre, et l'on chasse une nouvelle série de palplanches circonscrites au nouveau cadre, mais inscrites dans les premiers; la section

intérieure du puits se trouve ainsi réduite de toute l'épaisseur du nouveau cadre.

D'autres fois, après s'être assuré par un sondage de l'épaisseur exacte de la couche meuble à traverser, on construit extérieurement le boisage qui doit en maintenir les parois sur toute la hauteur; puis on le fait entrer par pression et on le descend à mesure qu'on enlève le sol à l'intérieur. Cet appareil porte le nom de *trousse coupante;* sa surface doit être lisse à l'extérieur, la sallie des cadres se trouvant à l'intérieur; enfin, pour faciliter sa pénétration dans la couche, on en taille la base en biseau et on charge la partie supérieure de telle sorte qu'à mesure qu'on excave le sol à l'intérieur la trousse descend par son poids et traverse la couche. L'important est d'empêcher la trousse de se déverser, et pour cela on la guide par quelques pieux enfoncés à l'avance autour de son périmètre. Enfin on peut encore la maintenir et la gouverner dans sa descente au moyen d'une forte poutre horizontale posée comme un balancier sur un chevalet, de manière à soutenir la trousse coupante par des chaînes fixées à l'intérieur, au-dessous de son centre de gravité.

Ces divers procédés, indiqués pour l'extérieur et dans le cas où la couche est superficielle, peuvent être également employés à l'intérieur. On élargit alors le puits au-dessus de la couche meuble à traverser; mais cela n'est praticable que dans le cas où cette couche n'a qu'une faible puissance (2 mètres par exemple), tandis qu'à la surface on emploie souvent des palplanches de 4 mètres, et des trousses coupantes de 8 mètres et au delà.

Il peut être quelquefois nécessaire de foncer un puits dans un terrain submergé. Le cas s'est présenté en quelques points des côtes de Cornwall, où des puits sont placés dans des endroits recouverts par les eaux, du moins pendant la haute mer. Ces mines sont ainsi prolongées sous le lit de la mer pour suivre la direction des filons et l'on y entend très-distinctement, au moment des orages, les galets qui roulent sur le fond. Les puits, qui s'avancent dans les eaux pour le service des travaux sous-marins, ont été creusés au moyen d'une cuve préalablement

enfoncée dans les sables de la mer, et constamment vidée pendant le fonçage. Ce travail, analogue à celui de la fondation d'une pile de pont, est à la fois long et coûteux.

M. Triger, ingénieur dans le département de Maine-et-Loire, eut l'idée de s'aider de l'air comprimé pour foncer un puits dans le lit même de la Loire. Un cylindre en tôle, servant de trousse coupante, fut enfoncé dans les alluvions; il était séparé en trois compartiments par des cloisons horizontales. Le compartiment du haut restait ouvert au jour, le compartiment du bas était l'atelier de fonçage, et celui du milieu servait de chambre d'équilibre, destiné à être mis en communication tantôt avec celui du haut, tantôt avec celui du bas, mais jamais avec les deux à la fois. Les choses étant ainsi disposées, on faisait arriver dans le compartiment du fond de l'air comprimé par une machine à vapeur. Cet air chassait l'eau par un tube dont la partie inférieure plongeait jusqu'au fond de l'excavation et dont la partie supérieure s'élevait au-dessus du cylindre. Les ouvriers pouvaient donc pénétrer du premier compartiment, ouvert au jour, au second qui était fermé hermétiquement, et dans lequel l'air à la pression ordinaire était mis en communication avec l'air comprimé du troisième; arrivés dans le troisième compartiment, ils excavaient les sables et faisaient descendre la trousse; puis ils accumulaient les débris de l'excavation dans le compartiment du milieu, et n'avaient, pour les sortir, qu'à fermer la communication avec le bas, et ouvrir la porte du haut. Une pression, suffisante pour équilibrer les eaux extérieures, était maintenue pendant le travail sans incommoder sensiblement les travailleurs. Ce procédé ingénieux a parfaitement réussi et ne peut manquer de s'étendre par de nouvelles applications.

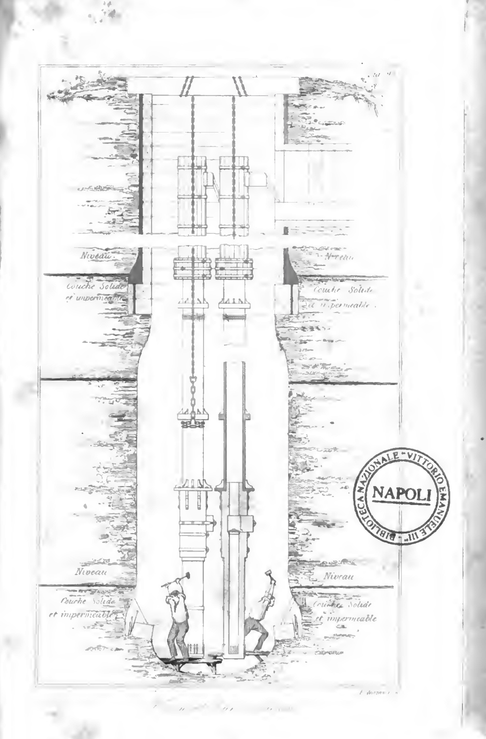
Boisages pour contenir les eaux. Cuvelages.

Le boisage est d'une exécution simple et facile tant qu'il n'a d'autre but que le soutènement; mais lorsqu'il doit contenir les eaux, il acquiert toute l'importance d'un ouvrage d'art.

Le cas le plus fréquent est le fonçage d'un puits à travers des terrains aquifères. Les sources qu'on met alors à découvert sont, d ns presque tous les cas, des sources montantes de fond, appelées *niveaux;* véritables eaux artésiennes qui, partant de profondeurs considérables, prennent dans le puits un niveau élevé et quelquefois très-rapproché de la surface. Lorsqu'une pareille source est rencontrée, il faut d'abord traverser la couche aquifère malgré l'affluence de l'eau, en protégeant le travail par tous les moyens d'épuisement dont on peut disposer; et aussitôt qu'on a atteint une couche quelque peu solide et imperméable, il faut masquer le niveau aquifère par un boisage assez fort pour résister à la pression des eaux. Cette pression est d'autant plus forte que les eaux tendent à prendre un niveau plus élevé, et le boisage doit être assez imperméable pour ne pas les laisser filtrer; car les voies d'infiltration, s'agrandissant progressivement par l'action du frottement, ne tarderaient pas à rendre le puits impraticable. Le boisage à exécuter a pris le nom de *cuvelage.*

C'est surtout lorsqu'il faut traverser des terrains stratifiés secondaires, comme pour l'exploitation de la houille dans le nord de la France, la Belgique, l'Angleterre, et dans quelques-uns des bassins du Midi où le terrain houiller est recouvert par des formations plus modernes, que le cuvelage des puits est nécessaire. On ne peut d'ailleurs foncer des puits dans des bassins géologiques dont les couches soient peu disloquées, sans être exposé à rencontrer des niveaux d'eau; les salines de la Meurthe en ont fourni un autre exemple, et il suffit, pour concevoir le phénomène, de se reporter à ce que nous avons dit sur les eaux artésiennes.

Prenons pour exemple le foncement d'un puits destiné à l'exploitation de la houille dans le département du Nord. Le terrain houiller y est recouvert par 60 à 80 mètres d'alternances calcaires et argileuses appartenant au terrain crétacé. Les couches calcaires sont fendillées et perméables; des niveaux puissants y circulent et sont contenus par les couches imperméables de glaises. Le terrain crétacé se termine par une de ces couches



Niveau
Couche Solide
et impermeable
Niveau
Couche Solide
et impermeable
Niveau
Couche Solide
et impermeable
Niveau
Couche Solide
et impermeable

imperméables, puissante, et recouvrant une assise arénacée, dite *tourtia*, qui annonce la succession immédiate du terrain houiller. Un fonçage, ouvert dans les couches crétacées, ne prend le nom de puits que lorsqu'il est arrivé au terrain houiller et qu'il a été cuvelé ; tant que son existence n'a pas été assurée, il reçoit le nom d'*avaleresse*.

Après avoir déterminé l'emplacement d'un puits et préparé cet emplacement, le terrain est défoncé et excavé par les moyens ordinaires; les roches sont soutenues par des boisages provisoires qui rejettent en même temps les eaux vers les parois, pour que les ouvriers puissent se maintenir au fond d'où les eaux, rassemblées dans un puisard, sont enlevées immédiatement au moyen de pompes manœuvrées à la surface. Ces pompes, suspendues à l'orifice de l'avaleresse au moyen de chaînes (fig. 93), sont descendues à mesure qu'elle s'approfondit. Les eaux croissant en raison de la surface mise à nu par le foncement, les moyens d'épuisement doivent suivre cette progression. La promptitude du travail est une des principales conditions de réussite ; car lorsqu'un premier niveau vient d'être traversé, les eaux se précipitent avec violence, et leur débit croît à mesure qu'on les épuise, parce qu'elles se frayent un passage plus facile dans les fissures du terrain. Dès que l'équilibre peut être rétabli par les pompes, on entame la couche imperméable et solide sur laquelle coule le niveau ; on creuse une banquette bien nivelée tout autour du fonçage, et un puisard d'un mètre de profondeur dans lequel les pompes sont établies, ainsi qu'il est indiqué dans la fig. 93. Ces pompes sont ordinairement en fonte et surmontées de tuyaux en bois, plus faciles à manier que les tuyaux en fonte. Le système d'épuisement est suspendu à des traverses placées à l'orifice du puits par des chaînes qui permettent de le descendre. Toute la partie inférieure au corps travaillant est également en bois, y compris même la chapelle qui contient le clapet de retenue. Les pompes sont à piston creux et du système dit pompe élévatoire. (Voir le chapitre 12, sur l'épuisement des eaux.)

Les choses ainsi disposées, on pose sur la banquette un pre-

mier cadre dit *trousse à picoter*. Ce cadre, en bois de chêne de m. 0,33 de largeur, et m. 0,28 de hauteur, soigneusement dressé et assemblé, doit laisser un vide d'environ m. 0,10 entre sa face extérieure et la roche, qui doit être bien saine (si elle présente quelques cavités ou fissures, on les bouche avec de l'argile). Dans ce vide d'environ m. 0,10, on place la *lambourde*, cadre un peu plus haut que la trousse, et composé de planches de sapin ayant m. 0,06 d'épaisseur. Ce cadre est d'abord serré sur la trousse par des coins chassés contre la roche, ainsi que l'indique la figure 94, puis on bourre avec de la mousse et jusqu'à refus, le vide maintenu entre la lambourde et les parois; enfin on enlève les coins, dont on remplit de même la place par un joint de mousse.

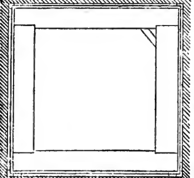


Fig. 94. *Cadre, dit trousse à picoter.*

Le joint est dès lors préparé; il ne s'agit plus que de le serrer, et de rendre la pression entre la trousse et la roche telle qu'il ne puisse jamais céder, et que la trousse, ainsi encastrée dans le terrain, puisse devenir la base du cuvelage. Tel est le but de l'opération dite *picotage*.

Entre la lambourde et la trousse on enfonce des coins plats en bois blanc dits *plats-coins* (fig. 95). Ces coins sont d'abord faiblement engagés sur tout le pourtour, de manière à être bien contigus. On les enfonce ensuite simultanément aussi également que possible; et lorsque l'écartement, ainsi amené entre la trousse et la lambourde par la compression de la mousse contre les parois, est suffisant pour que les coins puissent y être placés la tête en bas sur chaque face, on serre un coin plus que les autres de manière à pouvoir dégager le coin voisin, qu'on rem-

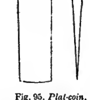
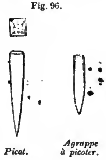


Fig. 95. *Plat-coin.*

place par un autre la tête en bas, serré dans sa partie supérieure par un second placé comme précédemment (fig. 93). Ce surcroît de serrage permet de dégager de proche en proche tous les premiers coins, qu'on remplace ainsi par des doubles coins superposés. Le serrage est ensuite forcé autant que possible, et jusqu'à refus des plats-coins.

A ce moment on prend un coin quadrangulaire en fer acéré, dit *agrappe à picoter* (fig. 96), on l'enfonce entre les plats-coins, et dans le vide ainsi fait on enfonce des coins quadrangulaires en bois dit *picots* (fig. 96). Les premiers picots sont en sapin, et on les enfonce jusqu'à refus, entre tous les interstices, des plats-coins. Alors tout est déjà serré; le joint de mousse, d'abord large de m. 0,04, est devenu à peine visible; on recèpe toutes les têtes des picots et plats-coins, puis on refend avec l'agrappe les têtes de chaque plat-coin, pour y enfoncer des *picots en bois de chêne* préalablement séchés au four. On continue ensuite à picoter partout où l'agrappe peut entrer, et ce n'est que lorsqu'elle-même ne peut plus pénétrer que le picotage est regardé comme complet. Il ne reste plus alors qu'à picoter les angles de la lambourde pour que la trousse soit définitivement établie.

Fig. 96.



On place habituellement l'une sur l'autre deux trousses ainsi picotées, afin d'avoir toute sécurité sur la solidité de ce joint inférieur, qui est la base du cuvelage. L'effet du picotage étant de déverser les pièces, ainsi qu'il est indiqué fig. 93, on a soin de donner une pente aux surfaces inférieures du cadre superposé afin de rétablir la verticalité sur les trousses; on monte ensuite le cuvelage, qui est composé de cadres contigus d'environ m. 0,20 d'épaisseur, et m. 0,25 à m. 0,30 de hauteur. Ces cadres doivent être bien dressés sur les deux faces jointives; entre chacun d'eux le joint est fait, soit avec une toile goudronnée, soit avec une bande de feutre. Derrière le cadre, c'est-à-dire entre le cuvelage et la paroi du puits, il reste un vide dans lequel se trouve le boisage

provisoire; on y jette et on y pilonne du mortier hydraulique, composé de chaux et de cendrée (scories de houille pilées). Ce mortier s'insinue dans tous les vides, durcit et protége le cuvelage contre l'effort des eaux, en formant une enveloppe d'un secours précieux pour l'entretien et les réparations.

Lorsqu'on monte un cuvelage élevé, on établit de distance en distance une *trousse porteuse*. C'est un cadre engagé par des saillies dans la roche, et serré fortement contre les parois à l'aide de coins. Ces cadres, espacés de 5 à 10 mètres, rendent le cuvelage adhérent au puits, de telle sorte qu'il ne pèse que peu sur les trousses picotées de la base. Enfin à la surface de la halde, on établit un cadre porteur bien solide.

Pour continuer le fonçage, on laisse d'abord au-dessous des trousses picotées une console en roche d'un mètre environ de hauteur (fig. 93), puis on reprend le premier diamètre et l'on traverse les bancs aquifères inférieurs comme le précédent. Arrivé au terrain solide et imperméable, on établit sur ce terrain un nouveau picotage double, et l'on monte les cadres contigus du cuvelage jusqu'à la console. Alors on sape successivement les diverses parties de cette console, et on arrive à lui substituer un dernier cadre dit *clef*, qui laisse nécessairement un petit vide horizontal. Ce vide est rempli par un picotage horizontal fait entre le cadre-clef et la trousse à picoter supérieure.

Enfin, lorsqu'on a atteint le grand banc de glaise qui est la base de tous les niveaux, on y fonde tout le cuvelage sur un picotage triple, et l'on rend le cuvelage complétement imperméable en calfatant les joints de tous les cadres entre eux, et clouant sur ces joints de petites planches qui empêchent l'étoupe d'être chassée par la pression des eaux.

Il est facile de prévoir, d'après cette description succincte, combien le foncement d'une avaleresse renferme de difficultés par suite des accidents qui peuvent survenir. Un ingénieur, chargé pour la première fois d'un pareil travail, ne peut manquer d'être effrayé en voyant les eaux envahir le puits et monter rapidement au moindre dérangement des pompes; même dans les phases ré-

gulières du foncement, la chute bruyante des eaux, la situation pénible des mineurs obligés de travailler dans l'eau, la confusion inévitable qui résulte de leur accumulation et de la nécessité de les changer souvent, enfin certains moments d'efforts infructueux pendant lesquels le travail semble rétrograder; tout se réunit pour placer cette opération au rang de celles qui exigent le plus d'habileté et de persévérance.

Il est des cas où des niveaux n'ont pu être franchis; le fonçage de la fosse de la Bleuze-Borne, à Anzin, a exigé l'emploi de 160 chevaux de force. D'autres fois, au contraire, le fonçage est facile; un picotage se fait en moins de 24 heures, et un niveau de 5 à 10 mètres est franchi en moins d'un mois.

Les niveaux les plus violents, après l'augmentation qui est la suite de l'épuisement, ont été jaugés à 3, 5 et jusqu'à 6,000 mètres cubes en 24 heures; le plus ordinairement, le débit de l'eau ne dépasse pas 1,500 à 2,000 mètres. Quant à la pression, elle paraît encore plus variable, et des pressions de 30 et 60 mètres peuvent être considérées comme représentant les conditions moyennes.

Les niveaux paraissent d'ailleurs soumis aux influences qui régissent ordinairement le volume des sources. Ainsi on a souvent observé que les pièces d'un cuvelage fléchissent et se rompent aux époques de la hauteur maximum des eaux, c'est-à-dire au printemps, et que, par un effet inverse, c'est-à-dire par un relâchement de tension, des accidents se manifestent également après un été très-sec.

Les ruptures ont surtout lieu dans les pièces défectueuses. Ces pièces doivent être remplacées dès qu'on s'aperçoit qu'elles fléchissent et qu'elles laissent filtrer l'eau à travers leurs pores; car, l'action mécanique de ces fuites désagrégeant de plus en plus les fibres du bois, la flexion augmenterait et une rupture subite pourrait avoir les résultats les plus fâcheux. C'est alors qu'on apprécie l'utilité d'un bon garnissage extérieur en béton; ce garnissage facilitant singulièrement les changements de pièces.

Lorsqu'on attaque un puits qui doit, à une certaine profondeur, traverser des couches à niveau, il faut conduire le travail de ma-

nière à n'arriver aux couches aquifères qu'à l'époque des basses eaux; par exemple, au commencement de l'automne.

Quelle que soit la forme du puits, les procédés ne changent pas. Les grands puits de 4 mètres de diamètre sont ordinairement octogones ou décagones, cette forme ayant l'avantage de diminuer la portée des bois. Les petits puits au-dessous de 2 mètres sont le plus souvent carrés, mais alors on fortifie les pièces des cadres par des poinçons placés dans les angles de manière à s'opposer à la flexion.

Dans un cuvelage décagone exécuté à Vicoigne (Nord), M. Evrard a armé chaque cadre de pièces de fonte formant un cercle inscrit et tendu, dont la butée sur le milieu de chaque pièce de bois empêchait toute flexion. Cette construction a parfaitement réussi; elle ne diminue que très-peu la section du puits, ne s'oppose en rien à l'entretien du cuvelage, et présente le précieux avantage de réduire cet entretien à celui du calfatage. Pour exécuter cette armature, on a fixé sur le milieu de chaque face du décagone un patin portant deux semelles latérales. Entre chacun de ces patins on a placé une courbe en fonte, provisoirement arrêtée par des clous qui passaient dans deux oreilles, puis on a bandé le cercle en chassant des clefs à mentonnet entre chaque joint. Une trousse de fonte, pesant 160 kilog., doublait la résistance de chaque cadre et n'augmentait la dépense que de 168 fr. par mètre de cuvelage, la consommation de bois a été réduite à stère 1,68 par mètre de hauteur, de chêne ayant 0,16 d'épaisseur, 0,33 de hauteur, et coûtant 200 fr. le stère; soit 316 fr. le mètre courant de cuvelage.

En Angleterre, où le bois est cher, on a trouvé avantageux de lui substituer la fonte dans les cuvelages. Les puits sont ronds, et des trousses à picoter sont établies, comme d'habitude, à la base des niveaux. Sur ces trousses on monte des secteurs en fonte d'environ un mètre de hauteur et portant sur toutes leurs arêtes un rebord plat de m. 0,15 de largeur. La circonférence totale est formée ordinairement de six de ces secteurs posés les uns à côté des autres et laissant entre eux des intervalles longitudinaux de m. 0,04 à 0,05 que l'on picote à la manière ordinaire. Les joints horizontaux se font très-bien avec une étoffe de laine gou-

dronnée et par la pression qui résulte du poids des pièces. De distance en distance on peut établir des trousses picotées qui jouent le rôle de trousses porteuses; mais il n'en est pas toujours besoin, car ces cuvelages, indépendamment de leur durée indéfinie et d'une réduction notable des frais d'entretien, ont, par suite des picotages verticaux faits entre les secteurs, l'avantage d'exercer tout d'abord, et dans toute la hauteur des couches aquifères, une pression considérable.

Les détails de construction des cuvelages peuvent varier dans des limites assez étendues; mais le but et l'ensemble des opérations est toujours d'établir, à travers les couches aquifères, un tube imperméable et solide. La solidité de ce tube, les précautions à prendre pour en faire les joints, doivent naturellement être proportionnées à la pression des niveaux. Dans des roches très-consistantes, comme certains grès fissurés et aquifères, l'emploi du béton hydraulique et d'un cuvelage léger est quelquefois bien suffisant; dans d'autres cas, au contraire, il faut accumuler toutes les ressources de la pratique et de l'invention.

Lorsque les eaux sont abondantes et qu'on monte un cuvelage, il est essentiel de percer dans les cadres inférieurs des trous de tarière, pour laisser les eaux s'écouler par la base; sans cette précaution, l'eau remonte, délaye et entraîne le béton. Il est bon aussi de laisser monter les eaux dans le puits à mesure que le cuvelage s'élève, afin de diminuer la pression tant que les calfatages ne sont pas établis.

Construction des serrements.

Dans l'intérieur des travaux de mines, la rencontre subite d'amas d'eau, la nécessité de s'isoler d'exploitations anciennes, obligent quelquefois à construire des digues ou barrages qu'on appelle *serrements*.

L'exécution de ces digues présente de grandes analogies avec celles des cuvelages; comme eux, elles sont formées de pièces de bois contiguës, dont les dimensions sont proportionnées à l'effort à

supporter, et que l'on serre contre le terrain encaissant au moyen de picotages. Quelques détails sur les diverses circonstances qui peuvent se présenter résumeront les dispositions laissées au choix de l'ingénieur.

Les serrements se font verticalement dans une galerie ou horizontalement dans un puits. Le cas le plus simple est celui où l'on opère en galerie de petite ou moyenne section ; dans ce cas, on prépare dans la roche l'encadrement du serrement, en y pratiquant des entailles suivant la disposition indiquée par les figures 97, 98 et 99.

Élévation et coupes d'un serrement droit, dans une galerie.

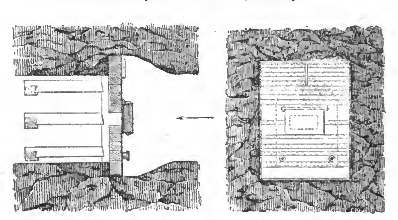


Fig. 97. *Coupe verticale* Fig. 98. *Élévation.*

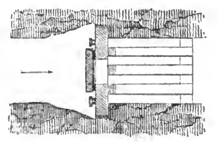


Fig. 99. *Coupe horizontale.*

Ces entailles étant préparées, on y empile les unes sur les autres des pièces de chêne équarries et dont les faces de contact sont bien dressées, en ayant soin de garnir avec de la mousse le joint horizontal du fond.

Arrivé près du plafond, on place d'abord les pièces du haut en les soutenant par des tasseaux, puis on pose la dernière pièce ou clef, qui pour entrer laissera nécessairement un jeu ou écartement de 4 à 6 centimètres. Ce jeu doit être rempli par un picotage horizontal fait, soit à la partie supérieure, au moyen d'une lambourde de m. 0,08 placée contre la paroi, soit entre deux pièces du serrement. Ce picotage s'exécute, comme dans le cuvelage, par un lit de mousse entre la lambourde et la paroi, et par le picotage entre la lambourde et la pièce du dessus au moyen de plats coins et de picots, d'abord en bois blanc, puis en chêne ou hêtre bien séché : on serre ainsi par un seul picotage le joint des deux parois horizontales, et l'on fait les deux joints verticaux des parois latérales. Ces deux joints se font par des picotages verticaux entre la roche bien dressée et les abouts des pièces. Il ne reste plus ensuite qu'à calfater les joints horizontaux du serrement, à recouvrir le calfatage de bandes de fer ou de planches clouées, et à l'armer contre la poussée des eaux au moyen d'un système de charpente analogue à celui qui est représenté, et qui s'oppose à toute flexion. Enfin, en cas de besoin on laisse une soupape pour pénétrer au delà du serrement.

Deux trous de tarière pratiqués à la base du serrement ont permis aux eaux de s'écouler pendant l'opération; on les bouche avec des tampons maintenus par des vis de pression. Les eaux s'accumulent dès lors contre le serrement, au sommet duquel un manomètre permet de constater les variations de pression, et de juger s'il n'y a pas danger de rupture.

Dans la mine de la Chartreuse près de Liége, des serrements analogues ont été construits en disposant les pièces verticalement au lieu de les placer horizontalement. Les entailles de la roche, au lieu d'être droites, étaient inclinées. Chaque pièce du serrement,

établie comme l'indiquent les figures 100, 101, 102, et suivant l'ordre marqué dans l'élévation, a été butée intérieurement au

Construction d'un serrement vertical dans une galerie.

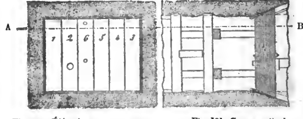


Fig. 100. *Élévation.* Fig. 101. *Coupe verticale.*

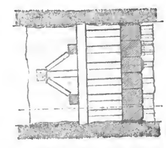


Fig. 102. *Coupe horizontale suivant* A B.

moyen de petits poinçons, afin qu'aucune d'elles ne pût se déranger pendant le picotage. On a d'abord fait le picotage des parois verticales sans entailles; puis on a exécuté les picotages horizontaux de manière à encadrer l'ensemble du serrement, lequel a été ensuite consolidé par une charpente de butée dont la disposifion est indiquée par les coupes horizontale et verticale. Un serrement droit de cette nature exécuté dans une galerie de 2 mètres de hauteur sur 2,70 de largeur, avec des bois de 0,53 sur 0,44, consolidé ensuite par le système de charpente indiqué, a résisté à une charge de 60 mètres d'eau, c'est-à-dire à un effort de plus de 340,000 kilog.; et sur 12 serrements ainsi établis à la Chartreuse, pas un n'a manqué.

Cette méthode présente, dans certains cas, des avantages sur

la disposition précédente. Ainsi, dans le cas précité, la galerie étant plus large que haute, la portée des bois a été diminuée, et par conséquent leur résistance augmentée. De plus, la nature de la roche ne permettait pas de se fier à des entailles droites pour soutenir une aussi grande poussée, tandis que dans les entailles inclinées, la résistance est en quelque sorte illimitée.

Dans quelques circonstances on a cherché à augmenter la résistance des serrements en augmentant la solidarité des bois; pour cela on les a taillés comme les voussoirs d'une voûte plate. Cette disposition, dite *serrement à voûte plate*, est très-bonne; seulement elle augmente un peu la difficulté d'exécution.

Enfin, dans les galeries à grande section qui ont plus de 3 mètres dans les deux sens, la portée des bois se trouvant beaucoup trop grande, on divise en deux le serrement, dont les pièces sont disposées à angles obtus de manière à représenter les deux portes d'une écluse. Cet ouvrage, dit *serrement busqué*, est d'un emploi rare, parce qu'il est coûteux, et qu'il est toujours préférable de choisir en avant ou en arrière un point où la galerie ait une section moindre et permette l'établissement des serrements ordinaires.

Les détails dans lesquels nous entrons sur ces ouvrages sont suffisamment justifiés par leur importance. La sécurité des ouvriers qui descendent dans la mine, la valeur de la concession et des travaux accumulés pendant de longues années, souvent même le travail d'une population tout entière, dépendent de la solidité de pareilles digues. Une pièce de bois rompue suffirait pour porter tout à coup la destruction et la ruine là où il y avait travail productif et richesse.

Il est rare pourtant qu'une pareille catastrophe résulte de la rupture d'un serrement. Trop d'intérêts sont attachés à une surveillance active et intelligente pour que les fuites, les flexions ne soient pas réparées aussitôt qu'elles se manifestent. Si la pression devient trop forte, on ouvre les tampons d'écoulement et on donne une issue à une partie de l'eau, qu'on épuise ensuite par les moyens ordinaires. Enfin, si un serrement est reconnu

mauvais, on en construit un nouveau devant le premier, en ayant soin d'amener les eaux derrière, graduellement et sans attendre qu'elles arrivent avec choc par la rupture subite de l'ancienne digue.

Les inondations de mines sont généralement advenues, soit par la rencontre fortuite de vieux travaux, soit par la mise en communication des excavations avec des eaux de la surface, ainsi que cela est arrivé dans quelques mines du pays de Liége, imprudemment exploitées sans soutènement sous le lit même de la Meuse. Une de ces inondations envahit en 1825 la mine de la Plomterie, dépendante de la concession de la Bonnefin, et présenta des circonstances d'un haut intérêt par l'énergie déployée pour la vaincre.

L'exploitation de la Plomterie, située près du faubourg Sainte-Walburge à Liége, était une des plus productives de l'époque. Elle possédait douze couches de houille dans lesquelles étaient ouvertes 320 voies de roulage ou d'aérage et des travaux de toute nature constituant un très-grand développement. Entre autres couches, les mineurs en suivaient une, dite du Maret, dans laquelle plusieurs tailles marchaient à l'Est vers les anciennes exploitations de la Vigne et du Baneux. Une de ces tailles, précédée de quatre trous de sonde de 10 mètres de longueur et de 0,037 de diamètre, fut subitement mise par l'un d'eux en communication avec les vieux travaux. Les eaux, chassant la sonde, s'élancèrent avec impétuosité; les ouvriers s'efforcèrent inutilement de boucher le trou, la sonde qu'ils y présentaient était violemment chassée par la pression des eaux, l'orifice s'agrandissait sensiblement, et bientôt il n'y eut plus de salut que dans la fuite. (Plus tard, il fut constaté que la colonne d'eau était de 130 mètres, et que la pression agissant avec une force de 139 kilogr. sur l'orifice de 0,037, il eût été en réalité très-difficile de boucher le forage.) Dans la nuit, la mine fut totalement inondée.

La compagnie de la Bonnefin ne resta pas abattue sous le coup d'un si grand désastre. Des sommes furent votées, et des moyens d'épuisement énergiques permirent de constater que la

nourriture des eaux s'élevait à 6,000 mètres cubes par vingt-quatre heures. Aussitôt on prit la résolution de sauver la mine ; et, sous la direction de l'ingénieur Devaux, quatre machines, représentant ensemble une force de 416 chevaux, furent montées sur les divers puits. Ce ne fut pourtant que sept ans après, le 15 avril 1833, qu'on put arriver au point de l'irruption. On reconnut que tout le massif de houille avait été emporté; la couche ayant 0,68 de puissance, l'ouverture avait 4 m. 50 de front, c'est-à-dire que la houille avait cédé sous le poids de 390,000 kilog.

Les eaux une fois épuisées et maintenues à un niveau convenable, les communications avec les mines inondées furent coupées

Construction d'un serrement horizontal dans un puits.

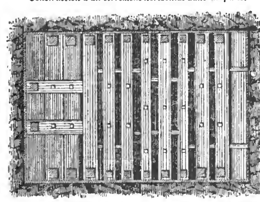


Fig. 103 *Plan du serrement.*

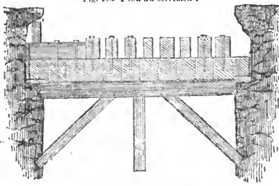


Fig. 104. *Coupe verticale.*

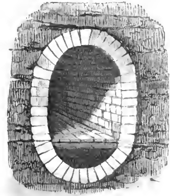
au moyen de serrements horizontaux ou plates cuves établies dans divers puits par lesquels arrivaient les eaux des anciens travaux. Pour cela, on creusa une banquette sur le périmètre de ces puits qui étaient rectangulaires et avaient 5 m. 20 de longueur sur 3 m. 34. Cette entaille fut creusée à m. 0,35; puis on y posa un serrement de chêne dont les pièces avaient m. 0,55 de haut et m. 0,45 de largeur. On ne se servit pas de lambourde; mais on introduisit une rangée de plats coins en bois tendre de 1 m. 10 de large et de m. 0,60 de haut, la tête en bas; puis on fit le joint de mousse entre ces coins et les parois. On recouvrit ensuite chaque plat coin d'un autre coin enfoncé la tête en haut; on procéda au picotage de l'encadrement, en commençant par les faces longitudinales des pièces, et terminant par les abouts, vers les longs côtés du puits. Enfin on calfata toutes les pièces entre elles; on arma chacune d'une autre pièce fixée au-dessus avec des vis à bois, afin de s'opposer à toute flexion, et on consolida le serrement en dessous au moyen d'étançons. Il ne restait plus qu'à boucher les trous de tarière qui laissaient couler les eaux à travers le serrement pendant le travail, et à les laisser s'accumuler au-dessus jusqu'à la hauteur de 80 mètres pour quelques-uns. La hauteur minimum était 50 mètres, c'est-à-dire que la charge s'élevait à 1,221,300 kilog., soit 101,775 kilog. par pièce de cuve.

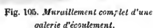
La compagnie eut bien encore quelques ruptures à combattre, mais elle réussit complétement à réparer le dommage et à rentrer en possession de ses mines, donnant ainsi aux exploitants un des exemples les plus remarquables de persévérance.

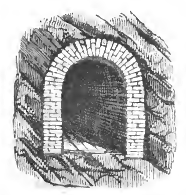
Muraillement des ouvrages souterrains.

Le muraillement convient surtout aux ouvrages à grandes sections qui doivent être établis dans les conditions d'une longue durée et d'un faible entretien ; il est quelquefois nécessaire, même dans les ouvrages à petite section, lorsque ces ouvrages traversent des terrains argileux qui se renflent par le contact de l'air et exercent des pressions que le boisage aurait peine à supporter.

Le muraillement complet d'une galerie se compose d'une voûte à plein cintre établie sur deux pieds droits pour soutenir le couronnement et les parois, et d'une voûte renversée pour empêcher la poussée et le gonflement du sol. Cette disposition a même conduit, dans beaucoup de cas où l'on a besoin de donner de l'écoulement aux eaux, à adopter un muraillement elliptique (fig. 105). Un plancher établi au-dessus du fond sert à l'écoulement des eaux et facilite le roulage. Dans la plupart des cas, la poussée du sol étant nulle, on se dispense de l'arc renversé, et l'on se contente d'engager les pieds droits dans deux entailles, ainsi qu'il est indiqué figure 106.




Fig. 105. *Muraillement complet d'une galerie d'écoulement.*


Fig. 106. *Muraillement d'une galerie dont le sol est consistant.*

Quelle que soit la forme du muraillement, on commence par excaver le sol en le soutenant par un boisage provisoire dans lequel on inscrit le muraillement. On remblaye avec soin les vides qui restent autour de la surface extérieure de la maçonnerie, afin de répartir la pression d'une manière générale sur toute cette surface. Ces constructions se font d'ailleurs comme au jour, en ayant soin de ne mettre que peu de mortier entre les joints; les voûtes s'établissent de même au moyen de cintres espacés, sur lesquels on pose des planches étroites.

Enfin, lorsque la galerie est placée sur un versant incliné, son entrée doit être mise à l'abri des éboulements supérieurs au moyen de deux éperons et d'un mur de revêtement construit au-dessus de la voûte.

De même que le boisage, le muraillement s'exécute par portions, suivant les besoins. Ainsi on ne fait que deux ou un seul pied droit, on ne fait qu'une voûte ou une portion de voûte, suivant qu'il est besoin de soutenir telle partie correspondante de l'excavation; enfin on peut encore combiner des portions de muraillement avec des portions de boisage, suivant la disposition des lieux. Dans certains cas on emploie même des voûtes pour soutenir des déblais. Tous ces ouvrages sont d'une grande simplicité lorsque les dimensions des galeries n'excèdent pas 2 à 3 mètres.

Lorsque les galeries sont à grande section, si le terrain est assez solide pour que le percement complet puisse précéder le muraillement, le travail d'excavation est conduit à gradins et avec la poudre, comme il est indiqué fig. 107 et 108 et comme il a été dit précédemment. Ainsi, dans le cas ci-dessous,

Disposition du percement d'une galerie à grande section dans un terrain solide.

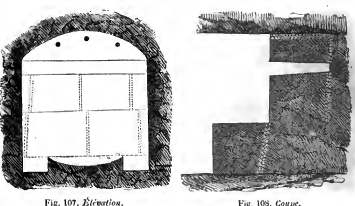


Fig. 107. *Élévation.* Fig. 108. *Coupe.*

la hauteur d'une galerie de 5 mètres peut être attaquée à trois niveaux; la division supérieure est dégagée par un havage horizontal

qui permet de placer trois coups de mine vers le sommet de la voûte; les deux gradins inférieurs sont enlevés chacun par trois coups de mine dont la disposition est également donnée, et l'excavation ainsi pratiquée est muraillée à mesure qu'elle avance. Mais si la solidité du terrain ne permet pas de mettre à nu une surface aussi considérable, il faut que le percement et le muraillement se fassent par portions successives.

Prenons pour exemple un souterrain percé au point de partage du canal de Bourgogne. Trois galeries ordinaires furent d'abord ouvertes; deux de 3 mètres sur 2 m. 50 de hauteur à la base des pieds droits, et l'autre de 2 mètres sur 1 m. 50 de large au sommet de la voûte. Les galeries inférieures reçurent les fondations des pieds-droits et servirent à les construire jusqu'à la naissance de la voûte (fig. 109). Ce premier travail fait, on abattit le couronnement et les parois de la galerie supérieure, et l'on éleva les galeries inférieures de manière à ne plus laisser qu'un massif intérieur, sur lequel on buta, avec des coins placés à la base, des bois debout soutenant des longrines (fig. 110), afin de contenir provisoirement la partie supérieure de l'excavation, qui avait alors plus de

Percement des galeries à grande section.

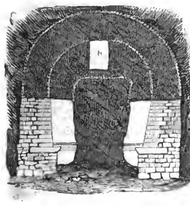


Fig. 109. *Muraillement des pieds-dro'ts.*

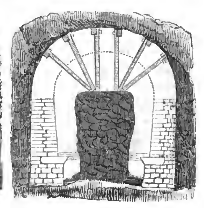


Fig. 110. *Excavation de la partie supérieure.*

5 mètres de diamètre. On établit ensuite à des distances de 3 mètres des cintres sur lesquels on posa les planches formant la voûte, puis on soutint les terres avec des étais calés sur les cintres. Alors on maçonna la voûte avec toutes les précautions usitées dans les travaux de cette nature pour éviter les infiltrations d'eau.



Fig. 111. *Pose des cintres et muraillement de la voûte.*

C'est par des moyens analogues que tous les grands souterrains des chemins de fer ont été percés et muraillés. Les terrassements des galeries partielles se font sur des voies en fer, et lorsqu'on décintre il ne reste plus qu'à attaquer et enlever le massif du milieu, déjà recoupé de distance en distance par des traverses précédemment faites pour établir la communication entre les deux galeries longitudinales.

Dans certains cas, par exemple dans le percement du double souterrain des Batignolles pour le chemin de fer de Saint-Germain, on a construit les voûtes avant les pieds-droits; ainsi on a d'abord excavé la partie supérieure au moyen d'une galerie solidement boisée. Cette galerie, ayant reçu un chemin de fer, servit au déblaiement des parties latérales jusqu'à la naissance de la voûte. Ces premières excavations étaient soutenues par des bois provisoires; les voûtes y furent commencées des deux côtés sur des sablières; et lorsqu'elles furent terminées, on déblaya l'emplacement des pieds-droits en soutenant les sablières par des étais qui furent remplacés successivement par la maçonnerie. La figure 112 indique les phases successives de ce travail, à savoir : 1° la première galerie percée à la clef de la voûte; 2° l'excavation de toute la voûte et le soutènement par des étais provisoires; 3° la pose des cintres et la construction de la voûte; 4° enfin la construction des pieds-droits.

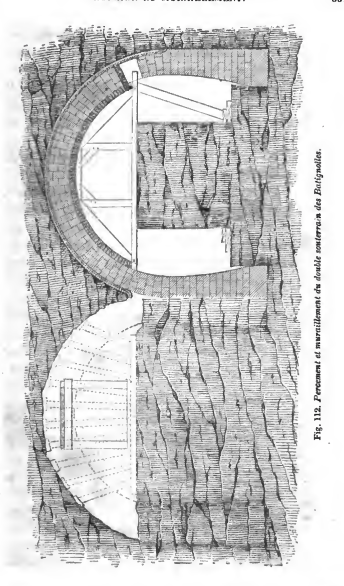


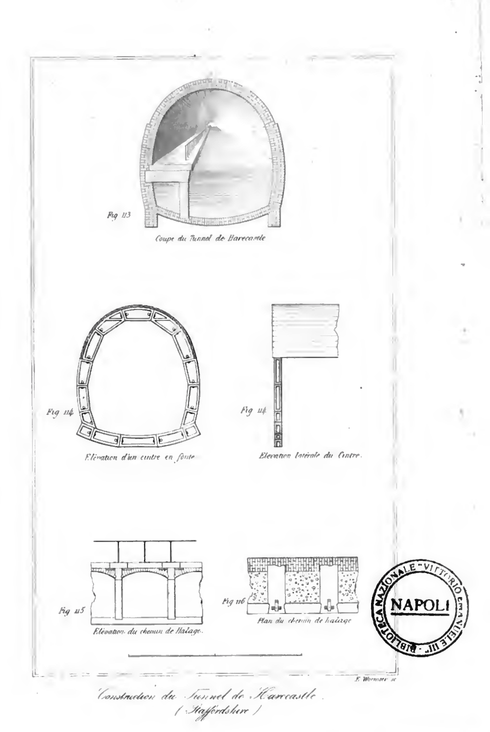
Fig. 112. *Percement et muraillement du double souterrain des Batignolles.*

On voit que, dans ces grandes percées, la précision et la solidité des boisages successifs sont pour beaucoup dans la précision

et la solidité du muraillement. Aussi, dans plusieurs cas, a-t-on jugé convenable de composer des cintres en fonte ou fer qui se montent par portions et soutiennent les voussoirs de construction. L'ingénieur Telfort a fait construire de cette manière le tunnel d'Harecastle sur le canal de Trent-et-Mersey, partant de Liverpool. Ce tunnel a 2,700 toises de longueur, 5 mètres de hauteur et 4 m. 60 de largeur, sur laquelle on a pris 1 m. 50 pour établir un chemin de halage (fig. 113).

Afin de pouvoir le commencer sur un grand nombre de points à la fois, il fut d'abord percé quinze puits de 40 à 50 mètres de profondeur pour atteindre le niveau du percement à partir de la surface du sol ; les ateliers d'excavation furent établis au bas de ces puits, indépendamment de ceux qui attaquaient le percement par les deux extrémités, de telle sorte que la galerie put être terminée en trois ans. Dans chaque atelier on attaquait d'abord l'emplacement des pieds-droits; puis on excavait toute la section en montant immédiatement les cintres descendus dans les puits par pièces, et assemblés au moyen de vis. Les parois de l'excavation étaient soutenues par des étais butés, d'abord contre les cintres, puis contre les madriers qui servaient de voussoirs, et qui étaient placés aussitôt que deux cintres pouvaient être établis.

Ce tunnel peut servir de type de construction pour les grandes galeries faites à la fois pour l'écoulement des eaux et pour le transport par bateau des matières abattues. Beaucoup de mines ont trouvé dans de semblables galeries une source de grande économie pour les transports. Les figures 113, 114, 115 et 116 indiquent suffisamment : 1° la forme donnée au muraillement complet du tunnel d'Harecastle; 2° les détails de construction du chemin de halage supporté au-dessus du niveau de l'eau par des voûtes surbaissées. Si le terrain n'avait pas besoin d'un muraillement complet, on pourrait substituer à ce chemin de halage une simple banquette formée par la roche elle-même, ainsi que cela a été fait, par exemple, dans le percement souterrain du canal de Saint-Quentin. Il est d'ailleurs inutile de



Construction du Tunnel de Harecastle.
(Staffordshire)

faire remarquer que, pour les transports souterrains par des galeries d'écoulement, la section de ces ouvrages peut être considérablement réduite.

Enfin, on emploie quelquefois le muraillement dans les tailles d'exploitation pour maintenir des galeries au-dessous des déblais. L'exemple représenté, figure 117, dans une exploitation à gradins renversés est un cas très-fréquent dans les mines de la Saxe. Les constructions indiquées dans les diverses méthodes, pour le soutènement des excavations et l'isolement des massifs, sont de véritables muraillements. Ces constructions se font généralement en pierres sèches, sauf le cas des corrois qui doivent être faits avec un mortier argileux qui rende le mur imperméable.



Fig. 117.

Voûte soutenant des déblais au-dessous des ouvrages à gradins renversés.

Muraillement des puits.

Les puits murailles sont ordinairement ronds ou elliptiques; on y emploie le moellon piqué et surtout la brique. La méthode la plus simple consiste à foncer le puits jusqu'à la profondeur qu'il doit avoir en soutenant les parois par un boisage provisoire, puis à élever le muraillement à partir du fond.

La fondation de ce muraillement est établie sur un cadre carré dont les pièces sont saillantes et engagées dans des entailles faites aux parois; sur ce cadre est posé un rouet ou rouage également en bois de chêne et ayant la forme du puits. Il ne reste plus qu'à monter la maçonnerie, en ayant soin d'engager

de distance en distance des cadres fondamentaux pour que les matériaux de la base ne soient pas écrasés par la charge de tout le muraillement. Si l'on opère sur un fond non consistant, on enfonce des pilotis, sur lesquels on pose un grillage. Quant au boisage provisoire, on le laisse derrière la maçonnerie, en ayant soin de remblayer les vides à mesure qu'on s'élève.

Il arrive souvent que le terrain ne peut attendre le muraillement jusqu'à la fin du foncement; dès lors on procède par reprises en soutenant les muraillements supérieurs par des consoles qu'on enlève ensuite lorsqu'on est arrivé à rejoindre deux portions. Enfin il arrive encore qu'on doit traverser un terrain aquifère dont les sources, n'exerçant pas une forte pression, peuvent être retenues par un bon muraillement, maintenant en même temps les parois; dans ce cas le muraillement doit se faire à reprises très-rapprochées de manière à suivre de près le foncement. C'est la méthode dite *quaffering* en Angleterre, substituée au cuvelage toutes les fois que les eaux le permettent; elle a été importée avec succès dans les bassins de Fins et du Vigan.

Pour foncer et murailler d'après cette méthode, on commence par établir à l'orifice des moyens d'épuisement correspondants à l'importance des niveaux à traverser. Ce travail doit être conduit absolument comme il a été précédemment indiqué pour le fonçage d'une avaleresse; c'est-à-dire qu'on excavera les couches aquifères jusqu'à la rencontre d'un banc solide et imperméable sur lequel on fondera le revêtement de toute la partie supérieure. On continuera ensuite le fonçage par reprises successives et muraillées; mais comme le poids du muraillement est plus considérable que celui d'un cuvelage et qu'on ne peut se fier à la solidité des consoles, il faut prendre quelques précautions spéciales pour éviter tout accident [1].

[1] On pourrait sans doute substituer au cuvelage la méthode de muraillement indiquée ci-après. Mais en pratique il sera toujours plus difficile de contenir les eaux par un mur en briques que par un boisage, et dans le cas d'une forte pression les réparations à faire lorsque des fuites se manifestent sont très-difficiles pour le muraillement. Jamais en effet on ne peut établir, entre la maçonnerie nouvelle et l'ancienne, cette solidarité nécessaire à un mur qui doit être complétement imperméable.

On établit d'abord à la surface un cadre très-fort, carré, et dont les côtés font saillie à l'intérieur de la courbe du muraillement; ou mieux encore des poutres rayonnantes vers le centre faisant une saillie d'environ m. 0,10 en dedans des parois de la maçonnerie, et fortement engagées dans la roche. Ces saillies sont destinées à recevoir des tirants en fer qui doivent soutenir le muraillement déjà fait lorsqu'on creuse en dessous, et que le terrain n'est pas assez solide pour qu'on puisse se fier aux banquettes. La figure 118 représente diverses périodes d'un foncement ainsi conduit en muraillant par reprises de haut en bas, et soutenant les portions de maçonnerie, au-dessous desquelles on continue le fonçage, par des tirants en fer accrochés à des points fixés vers la surface du sol.

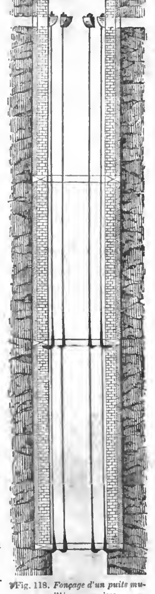


Fig. 118. *Fonçage d'un puits muraillé par reprises.*

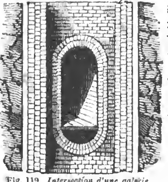
Après avoir traversé un certain nombre de couches, aussitôt que le travail est gêné par les eaux et qu'on a trouvé une couche un peu solide, on y fait une banquette sur laquelle on établit un rouet ayant la largeur du muraillement, plus environ m. 0,12; au total, m. 0,48, par exemple. La surface supérieure de ce rouet, qui est en bois, présente la forme du premier tour de spire d'une hélice; de telle sorte que les briques du muraillement, au lieu de former une sé-

rie d'anneaux fermés, sont disposées en hélice continue. Cette méthode évite de tailler la brique ; elle gagne donc du temps et supprime aussi les joints défectueux. Les briques, façonnées exprès, sont exactement juxtaposées. A mesure que la maçonnerie est montée de m. 0,30, on jette de l'argile dans les vides qui restent entre sa paroi extérieure et la paroi du puits, et on la bourre fortement avec des matoirs en bois de manière à ne laisser aucun vide. Enfin, si les sources sont montantes du fond, pour ne pas être gêné dans l'établissement de ce garnissage extérieur qui doit être bien fait, on dispose à la base un ou plusieurs tubes percés latéralement et placés derrière l'argile; ces tubes dégorgent les eaux dans le puisard à travers le rouet, et lorsque la maçonnerie est terminée on bouche les trous avec des chevilles.

Avant de foncer le puits au-dessous du rouet, on attache ce rouet aux pièces saillantes au moyen de tirants en fer (fig. 118).

On voit que cette manière de foncer en muraillant n'est que la méthode de foncer en cuvelant avec les modifications rendues nécessaires par la différence des matériaux employés. On finit par obtenir ainsi un revêtement en briques, protégé lui-même par un revêtement en argile, et cet ensemble peut à la fois contenir les parois et les eaux à des pressions de 10 et 15 mètres.

Lorsque, dans un puits ainsi muraillé, on veut établir une galerie, on en muraille complétement l'entrée au moyen d'une double voûte, et on soutient ce muraillement jusqu'à ce qu'on soit sorti des terrains ébouleux et aquifères.


Fig. 119. *Intersection d'une galerie dans un puits muraillé.*

Enfin, dans beaucoup de cas, on traverse des couches ébouleuses en se servant d'un muraillement construit à l'avance sur un fort rouet taillé en biseau à la base, et dont on se sert comme d'une trousse coupante; le muraillement est exhaussé à la surface à

mesure que l'ensemble descend. On a même employé cette méthode de *trousse coupante en maçonnerie* sur une échelle très-vaste pour foncer les grands puits qui conduisent au tunnel sous la Tamise.

Le percement de ce tunnel est un des ouvrages souterrains les plus remarquables, par l'accumulation des difficultés qui se présentèrent successivement; la description des procédés qui furent mis en œuvre pour son exécution nous permettra de résumer tous ceux que nous avons précédemment indiqués. Ce travail fut commencé en 1824 après qu'on eut constaté par trois lignes parallèles de sondages qu'il existait au-dessous de la Tamise, et à une profondeur convenable, une couche d'argile assez dense et assez épaisse pour permettre le percement. Ces sondages apprirent en outre qu'il existait au-dessous des argiles un banc de 15 mètres de puissance de sables aquifères qu'il fallait absolument éviter; il était donc impossible de s'établir à une plus grande profondeur, et le travail devait être constamment maintenu, entre les dangers du dessous et ceux du dessus, dans une zone qui laissait très-peu de latitude.

Il était nécessaire de creuser d'abord un puits pour atteindre le niveau de percement. En résumant les divers procédés dont on avait la disposition pour un travail de cette nature, on pouvait : 1° foncer un puits en excavant le sol, le soutenant au besoin par un boisage provisoire, et, le puits terminé, en monter à partir du fond le revêtement définitif; 2° si le terrain était trop difficile à maintenir dans toute sa hauteur, exécuter le fonçage et faire le muraillement par portions successives, en soutenant à chaque reprise le revêtement déjà fait, soit par une banquette ou console, soit par un appareil de tirants en fer fixés à une charpente disposée à cet effet sur l'orifice; 3° dans les parties trop mouvantes pour se prêter à une excavation de mètre en mètre ou même de moitié sans soutènement, on pouvait employer la méthode des coins divergents; 4° enfin, restait la méthode des trousses coupantes construites soit en bois, soit en maçonnerie.

Les dimensions extraordinaires du puits creusé pour le tunnel rendaient les premières méthodes d'une application difficile, et

le procédé d'une trousse coupante en maçonnerie fut préféré par M. Brunel.

A 35 mètres de distance du fleuve, on creusa un puits qui devait avoir 16 mètres de diamètre. Pour cela M. Brunel établit un rouet en bois servant de base au muraillement; ce rouet était lui-même fixé sur un anneau en fonte taillé en biseau à sa partie inférieure de manière à pénétrer facilement dans le terrain. Une tour de 16 mètres de diamètre et de 12 mètres de hauteur fut construite sur cette base; les murs avaient m. 0,90 d'épaisseur; ils étaient traversés et fixés sur le rouet en charpente par des boulons serrés sur un rouet supérieur; des cercles en bois de m. 0,30 de largeur, placés de distance en distance, rendaient en outre parfaitement solidaire tout l'ensemble de l'appareil qui pouvait être assimilé à une trousse coupante. C'est en effet par les procédés appliqués aux trousses qu'on fit descendre cette masse dans les alternances alluviales pénétrées d'eau qui avaient tout le caractère de sables mouvants. Cette tour étant descendue jusqu'à 10 mètres environ, le puits put être continué dans des roches solides jusqu'à 20 mètres de profondeur, et le muraillement, repris en sous-œuvre, fut relié à celui de la trousse coupante. Arrivé là, on descendit intérieurement une tour maçonnée de 8 mètres de diamètre qui devait former un puisard; mais à peine avait-elle pénétré de quelques mètres que le terrain se défonça subitement, les sables aquifères inférieurs ayant été atteints. On parvint néanmoins à continuer l'excavation et à la murailler de manière à avoir un puisard suffisant, et à pouvoir commencer le percement de la galerie à la hauteur convenable sans être inquiété par les eaux qui se rassemblaient dans ce puisard et en étaient extraites au moyen d'une machine à vapeur.

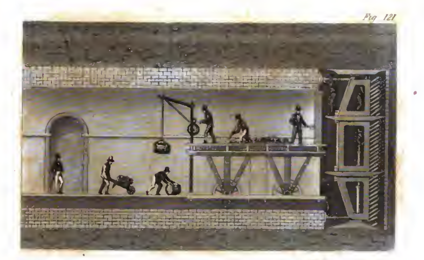
Pour excaver et construire la galerie intérieure, les méthodes connues étaient en petit nombre; percer la galerie par gradins droits et faire suivre le revêtement était chose impraticable pour un ouvrage aussi important et dans des terrains meubles dont le moindre éboulement pouvait amener la ruine des travaux; se faire précéder par des coins divergents était impossible sur un

Fig. [illegible]



Coupe transversale du percement du Tunnel sous la Tamise.

Fig. 121



Coupe longitudinale suivant l'axe d'une des galeries du Tunnel sous la Tamise.



périmètre aussi considérable. Restait la méthode ordinaire, qui consiste à subdiviser la section totale en plusieurs galeries à l'aide desquelles on aurait successivement monté les diverses parties du revêtement. Mais cette méthode était d'une application bien difficile pour un muraillement de cette importance; il était à craindre que ce muraillement, établi par portions dans un terrain dont on n'était pas sûr, ne fût exposé à des mouvements partiels, et que l'ensemble n'eût pas cette unité, cette solidarité qui pouvait seule conduire à un résultat durable.

Pour construire les deux galeries voûtées du tunnel, il fallait creuser une galerie rectangulaire de 10 m. 60 de largeur sur 6 m. 30 de hauteur; or une pareille excavation pouvait d'autant moins être tentée par les procédés ordinaires, que, dans le milieu du fleuve, la galerie qui devait passer à 13 m. 50 au-dessous du niveau des plus hautes eaux, n'était protégée que par des terrains dont quelques mètres seulement étaient de nature argileuse.

Pour vaincre ces difficultés, M. Brunel employa un appareil appelé bouclier, composé de douze châssis en fonte (voir fig. 120 et 121) simplement posés à côté les uns des autres. Ces châssis étaient divisés en trois compartiments dans lesquels étaient étagés les ouvriers, de telle sorte que, sur la face de la galerie, ils étaient au nombre de 36, disposés sur trois rangs. Les châssis étaient butés contre la maçonnerie déjà faite au moyen de vis de pression qui les faisaient avancer au besoin; à leur partie supérieure étaient des pièces de bois qui soutenaient le plafond. Enfin contre le sol se trouvaient des planchettes d'étai serrées contre le terrain au moyen de vis appuyées suivant toute la longueur des châssis. Les ouvriers enlevaient successivement ces planchettes, excavaient derrière jusqu'à environ m. 0,20 de profondeur et les replaçaient; de cette façon la paroi verticale était toujours maintenue. Lorsque l'abattage avait été ainsi fait sur toute la surface du rectangle, on desserrait les vis d'étai d'un châssis et on le faisait avancer au moyen des grandes vis opposées, butées contre la maçonnerie. Tous les châssis ayant marché, la maçonnerie était augmentée

d'un rang de briques. Un chariot mobile (fig. 121) amenait les matériaux à hauteur, de sorte que les diverses opérations de l'excavation et du muraillement étaient conduites simultanément.

Malgré les difficultés de l'entreprise et la complication des moyens, 160 mètres furent excavés et muraillés en 18 mois ; mais, en s'approchant du fond du fleuve, la couche protectrice d'argile s'amincit sensiblement, et deux irruptions de la rivière compromirent les travaux. C'est alors qu'il fallut opérer dans la Tamise même pour boucher avec de l'argile les entonnoirs qui s'étaient produits, et dont l'un n'absorba pas moins de 3000 mètres cubes d'argile. Ces pas difficiles une fois franchis par la maçonnerie, on établit au moyen de coins un serrage entre les voûtes et le terrain, pour arrêter définitivement les eaux. Enfin, après diverses interruptions, cet immense travail vient d'être terminé.

Il n'est pas douteux que l'ingénieux moyen employé par M. Brunel pour attaquer et soutenir à la fois toute la section d'une grande galerie ne puisse recevoir d'utiles applications dans des travaux moins importants et sur une plus petite échelle. Aucun autre procédé ne peut être plus efficace pour traverser les terrains meubles ; car dans aucun d'eux le soutènement ne suit d'aussi près l'excavation.

Avant d'entreprendre le percement d'un tunnel muraillé, on doit d'ailleurs examiner avec soin s'il ne serait pas plus avantageux de faire une tranchée. Ce cas s'est présenté, par exemple, pour certaines parties de galeries d'écoulement dans des terrains meubles, notamment lorsque ces galeries débouchent dans les vallées à des niveaux assez bas. Dans quelques circonstances, on a employé la poudre à très-grandes charges pour déblayer un terrain au lieu d'y percer un tunnel. Le fait s'est présenté récemment dans l'établissement du chemin de fer de Folkstone à Douvres. Le tracé, qui avait déjà nécessité le percement de deux tunnels, suivait le bord de la mer et devait traverser, par un troisième tunnel, un promontoire de calcaire crétacé de 100 mètres de hauteur. Cette masse, d'ailleurs bien dégagée, était dans de bonnes conditions pour être enlevée par l'action de la poudre ; on

creusa donc vers la base une galerie qui, pénétrant dans le centre de la masse, servait en quelque sorte d'entaille pour limiter le champ d'action de l'explosion ; on découpa le promontoire par trois autres galeries perpendiculaires à la première ; puis on perça trois puits faisant fonction de trous de mine. A la base de ces puits on creusa trois chambres ou fourneaux ayant 3 m. 33 de longueur, 1 m. 50 de hauteur et 1 m. 25 de largeur ; ces trois chambres furent chargées ensemble de 9000 kilog. de poudre qu'on enferma par un bourrage en maçonnerie et en sable. L'explosion, déterminée par une batterie galvanique placée à 300 mètres en arrière des fourneaux, eut tout le succès désirable, et le rocher fut détaché sur une longueur de 150 mètres.

CHAPITRE DIXIÈME.

AÉRAGE DES MINES.

Causes qui vicient l'air dans les mines.

Les moyens d'entretenir dans les mines une atmosphère constamment respirable et de préserver les ouvriers des accidents qui peuvent résulter de la présence des gaz délétères constituent une des parties capitales de l'art d'exploiter.

Les causes qui vicient l'air le plus ordinairement sont : la respiration des ouvriers; la combustion des lampes; les explosions de la poudre; la décomposition spontanée de certaines substances minérales, telles que les sulfures qui se changent en sulfates; la houille qui s'échauffe et s'embrase spontanément; la corruption des bois; le choc des outils contre des roches contenant des minerais d'arsenic ou de mercure; puis enfin les dégagements naturels de gaz délétères qui pénètrent les roches, ou sont accumulés dans des crevasses et des cavités naturelles, quelquefois dans de vieux travaux.

Les gaz ainsi produits ou dégagés se liquatent dans les tailles ou galeries par ordre de densité :

L'hydrogène carboné.	Pes. sp.	0,558
L'azote.	»	0,976
L'air atmosphérique.	»	1
L'hydrogène sulfuré.	»	1,191
L'acide carbonique.	»	1,524
Les vapeurs arsenicales et mercurielles.	»	?

Les précautions générales employées pour se débarrasser de ces gaz à mesure qu'ils se forment, en créant des courants assez énergiques pour amener leur diffusion avec l'air atmosphérique et entraîner le mélange hors des travaux avant qu'il n'ait pu nuire, con-

stituent l'art de l'*aérage*. Mais ces moyens généraux ne suffisent pas toujours, et il faut leur adjoindre des moyens spéciaux pour éviter ou du moins combattre les dégagements subits, jusqu'à ce que les moyens généraux aient rétabli l'équilibre. Il est donc nécessaire de pouvoir reconnaître la présence de chacun des gaz, afin de les détruire à temps, et même s'il se peut atténuer les causes de leur production.

Lorsqu'on commence un ouvrage de mine, puits ou galerie, si aucun phénomène particulier n'y facilite le renouvellement de l'air, la seule respiration des ouvriers et la combustion de leurs lampes ne tardent pas à le modifier sensiblement. En effet, un ouvrier aspire par heure une moyenne de 800 litres d'air, dont il absorbe en partie l'oxygène (l'air est composé en volume de 79 parties d'azote et 21 d'oxygène), et substitue à cet oxygène dans le même espace de temps 24 à 25 litres d'acide carbonique; sa lampe, agissant à peu près avec la même intensité que sa respiration, produit autant d'acide carbonique et augmente en outre la proportion de l'azote isolé.

L'*acide carbonique*, qui est ainsi le produit le plus immédiat et le plus général des travaux de mine, se reconnaît à sa pesanteur; il occupe toujours les parties inférieures des excavations; son mélange avec l'air se manifeste par la difficulté de la combustion des lampes dont la flamme contractée éclaire d'autant moins que la proportion d'acide est plus grande, et finit par s'éteindre lorsque le mélange est d'un dixième. Sur les mineurs, l'acide carbonique se manifeste par une oppression qui les accable; du reste, le tempérament et l'habitude font beaucoup varier les proportions du mélange que les hommes peuvent respirer; certains mineurs peuvent travailler encore lorsque les lumières ont cessé de brûler; il en est même dont l'habitude est telle qu'ils circulent, assure-t-on, dans des galeries où il y a plus de 25 p. 100 d'acide carbonique. Néanmoins on doit veiller, sous peine des plus grands dangers, à ce que les lampes puissent brûler partout avec facilité et que la proportion ne dépasse jamais 5 p. 100; car ce gaz, que les mineurs appellent souvent mofette, a les plus

grandes tendances à s'isoler en se liquatant, et peut alors causer une asphyxie instantanée.

Un exemple démontrera cette action énergique. Des ouvriers du Creuzot descendent un matin à la suite les uns des autres dans un puits au bas duquel l'acide carbonique s'était accumulé pendant la nuit. Arrivé au niveau du bain, à quelques mètres à peine du fond du puits, le premier tombe frappé d'asphyxie et sans avoir le temps de pousser un cri; le second le suit immédiatement, le troisième voit ses camarades à terre presqu'à portée de son bras, il se baisse pour les saisir et tombe lui-même; un autre subit le même sort en voulant sauver les autres, et la catastrophe ne se fût pas arrêtée là si le cinquième n'eût été un maître mineur expérimenté, qui obligea ceux qui le suivaient à remonter.

Ces accidents sont souvent à redouter dans les mines de houille où des dégagements spontanés peuvent produire en peu de temps de grandes quantités d'acide carbonique. Dans ce cas, il faut avoir à portée de l'ammoniaque, de la potasse caustique ou de la chaux dont on forme à la hâte une dissolution que l'on projette dans le travail envahi, soit en la laissant tomber avec un arrosoir si c'est dans un puits, soit en l'injectant avec une pompe si c'est dans une descenderie ou une galerie. Il faut, en outre, combattre incessamment la production de l'acide carbonique et prévenir son accumulation en ne laissant pas de bois en décomposition et proscrivant toute combustion autre que celle des lampes nécessaires à l'éclairage; enfin, prévenir les échauffements spontanés et les incendies si fréquents dans les mines de houille. Lorsqu'un incendie s'est déclaré, il faut le circonscrire par des murs imperméables dits *corrois*, murs construits en déblais avec un mortier d'argile.

Les gaz résultant de la combustion souterraine de la houille sont, outre l'acide carbonique : l'oxyde de carbone, l'azote, l'acide sulfureux, et des carbures d'hydrogène qui ont une odeur spéciale. Avant que la houille ne prenne feu, l'air intérieur est déjà lourd, échauffé par des dégagements gazeux pré-

curseurs de l'incendie. Aussitôt que ces symptômes sont remarqués, on doit enlever les houilles abattues et isoler de l'air ambiant les parois ou les écrasées qui renferment le foyer de cet échauffement, en employant à ce travail les ouvriers dont l'organisation est reconnue la plus apte à supporter l'influence délétère de ces gaz.

Il faut enfin essayer de temps en temps l'air qui s'accumule dans les parties les plus basses de la mine, dans le fond des puits, dans les descenderies, et redoubler de précautions, surtout lorsqu'on aborde des travaux où l'on n'a pas été depuis quelque temps.

L'*azote* est beaucoup moins à redouter que l'acide carbonique, parce que son action sur l'économie animale est moins énergique ; d'ailleurs sa production n'a lieu que par l'absorption de l'oxygène de l'air, et il n'en existe pas naturellement dans les fissures ou cavités des roches. Il n'y a donc pas de dégagement spontané ; mais si l'on vient à pénétrer dans des travaux abandonnés depuis long-temps et où il y a eu combustion, l'azote occupera, en vertu de sa légèreté, les parties supérieures des excavations, tandis que l'acide carbonique occupera les parties inférieures, l'air respirable formant la zone intermédiaire. L'azote se trouve encore isolé dans certaines mines où il existe des pyrites en décomposition ; les sulfures se changeant en sulfates, absorbent l'oxygène et isolent l'azote ; le sulfure de fer est sous ce rapport l'agent le plus actif. L'azote se manifeste par la couleur rouge de la flamme des lampes qui finissent même par s'éteindre ; il rend la respiration difficile, fait éprouver une pesanteur de tête et des sifflements dans les oreilles qui semblent indiquer un mode d'action différent de celui de l'acide carbonique.

La lampe ordinaire du mineur s'éteint lorsque l'air ne contient plus que 15 p. 100 d'oxygène ; c'est aussi à cette proportion de 85 p. 100 d'azote que l'asphyxie est déterminée.

L'azote, étant plus léger que l'air atmosphérique, est assez facile à expulser et n'est réellement à craindre que dans les montages sans issues supérieures ; il se loge dans les anfrac-

tuosités des plafonds et doit être expulsé par la ventilation, aucun réactif n'étant apte à l'absorber.

Les *vapeurs arsenicales et mercurielles* produites par les chocs multipliés des outils d'acier contre les minerais riches en mispickel, cinabre ou mercure natif, ne peuvent non plus être combattues que par un aérage vif qui en amène la diffusion et les entraîne au dehors. Il paraît même impossible, quelle que soit la rapidité du courant, d'en éviter tout à fait les effets délétères. On doit donc chercher à en produire le moins possible, employer la poudre pour l'abattage préférablement aux outils, et placer les coups de mine en dehors des veines apparentes de minerai; il faut, de plus, éviter de briser, dans l'intérieur des travaux les fragments abattus par les coups de mine, enfin réduire la durée des postes des mineurs et les faire alterner avec les ouvriers de jour, pour éviter qu'ils restent trop long-temps sous l'influence de l'air intérieur.

Les mines de cette nature sont heureusement assez rares; car, malgré toutes les précautions, on n'a pu éviter à Almaden et Idria, par exemple, leur influence délétère sur un grand nombre de mineurs qui sont atteints de tremblements nerveux et de fièvres dangereuses.

L'*hydrogène proto-carboné*, désigné par les mineurs sous le nom de *grisou,* est de tous les gaz le plus dangereux, celui qui détermine le plus grand nombre d'accidents; non par l'asphyxie, qu'il peut cependant produire lorsqu'il n'est pas mélangé d'au moins deux fois son volume d'air, mais par sa propriété de s'enflammer au contact des flammes d'éclairage, et de détoner lorsqu'il est mêlé dans certaines proportions avec l'air atmosphérique.

Ce gaz, dont la composition est H^4C, pèse 0,5589 : il est assez fréquent dans la nature, et souvent désigné sous la dénomination de gaz des marais, parce qu'il se dégage des eaux stagnantes qui retiennent des matières végétales en décomposition. Quelques volcans boueux, dits salses, l'émettent en grande quantité; enfin il pénètre certaines roches, telles que les houilles et les

roches salifères, où il est en outre accumulé et comprimé dans des cavernes ou vides naturels ; de telle sorte que beaucoup de sondages en ont déterminé de véritables sources. Il existe de ces sources naturelles ou artificielles, qu'on peut allumer et qui ont assez de persistance pour pouvoir être utilisées.

Le grisou est plus abondant dans les houilles grasses et friables que dans les houilles sèches et maigres ; il se dégage surtout dans les éboulements, dans les tailles récentes de toute surface mise à nu, et cela même assez vivement pour faire souvent décrépiter de petites écailles de houille et produire un léger bruissement. Les fissures ou délits de la houille, et même les fentes des roches du toit ou du mur, donnent quelquefois issue à des *soufflards* ou jets de gaz. On a remarqué dans l'air où se dégage le grisou des filaments blanchâtres, des bulles floconneuses qui gagnent le faîte des excavations, et seraient dues, d'après M. Dumas, à la différence du pouvoir réfringent de l'air et de l'hydrogène proto-carboné jointe à la précipitation d'un peu de vapeur d'eau par suite du refroidissement dû à la dilatation.

Le grisou n'est pas réparti dans les couches d'une manière uniforme ; on a observé que, près des failles, des renflements ou des étranglements, et sur tous les points où la houille était fracturée, le dégagement était beaucoup plus intense. Enfin on a cru remarquer, dans certaines mines, qu'il y avait relation entre la hauteur barométrique et l'activité du dégagement ; fait qui s'expliquerait d'ailleurs assez naturellement, mais qui ne doit pas être généralisé. En effet, dans la plupart des cas, le dégagement a lieu avec une pression bien supérieure aux variations barométriques, et par conséquent ce dégagement ne peut être modifié d'une manière notable par les faibles changements de la pression atmosphérique. Dans plusieurs circonstances le dégagement a eu lieu de surfaces noyées par des colonnes d'eau d'une et deux atmosphères. Ce qu'on peut appeler régime du grisou est donc très-variable et doit être étudié avec soin dans chaque mine, afin d'éviter les circonstances qui peuvent amener des dégagements subits et considérables.

L'action de ce gaz sur les flammes des lampes est le guide le plus certain pour en apprécier la présence et la proportion. Cette flamme se dilate, s'allonge, et prend une teinte bleuâtre qu'on distingue très-bien en plaçant la main entre l'œil et la flamme, de manière à n'en voir que le haut. Dès que la proportion est d'un douzième dans l'air ambiant, le mélange est explosif et, si une lampe y est portée, il se produit une détonation proportionnée au volume du mélange. Lors donc qu'un mineur a constaté au-dessus de la flamme de sa lampe le nimbe bleuâtre qui décèle la présence du grisou, il doit se retirer en tenant sa lumière très-basse, ou même l'éteindre.

Les observations de Davy sur les mélanges du grisou avec l'air atmosphérique ont constaté les faits suivants (ces mélanges étant mis en contact avec une bougie allumée) :

Grisou.	Air atmosphérique.	
1 partie.	30 à 16 parties.	Élargissement progressif de la flamme.
1 »	16 »	Élargissement très-fort.
1 »	49 à 15 »	Détonation croissante.
1 »	8 »	Détonation maximum.
1 »	7 »	Détonation forte.
1 »	6 »	Détonation faible.
1 »	4 à 2 »	Inflammation sans détonation.

d'où l'on voit que les explosions les plus violentes auront lieu lorsqu'un volume de gaz hydrogène proto-carboné se trouvera mêlé à sept à huit volumes d'air atmosphérique.

Les effets chimiques d'une explosion sont : la production directe des vapeurs d'eau et d'acide carbonique et l'isolement de l'azote. Les effets physiques sont : une dilatation violente des gaz et de l'air ambiant suivis d'une réaction par contraction. Les ouvriers qui se trouvent dans l'atmosphère explosif sont brûlés, et le feu peut même se communiquer au boisage ou à la houille ; le vent produit par la dilatation est tel que jusqu'à des distances considérables du lieu de l'explosion les ouvriers sont renversés ou projetés contre les parois des excavations ; les murs, les boisages sont ébranlés, brisés, et des éboulements sont produits ; ces effets destructifs peuvent se propager jusqu'aux orifices des puits par lesquels

sont projetés des fragments de bois et de roches accompagnés d'un nuage épais de houille en poussière.

Le mal ne s'arrête pas là : des quantités considérables d'acide carbonique et d'azote, produites par la combustion du gaz, stationnent dans les travaux et font périr par asphyxie ceux qui ont échappé à l'action immédiate de l'explosion. Les courants de l'aérage, subitement arrêtés par cette perturbation, sont d'autant plus difficiles à rétablir que les portes qui servaient à les régler sont en partie détruites; les feux sont éteints, et souvent même les machines établies à l'orifice des puits pour déterminer les courants sont atteintes et dérangées, de telle sorte qu'il devient impossible de porter aucun secours au fond des travaux.

Quelques exemples donneront une juste idée de l'intensité des explosions et de leurs effets.

Dans une galerie d'une mine de Saarbruck, l'air détonant prit feu à l'arrivée d'un mineur portant une lampe ordinaire. Sept digues en briques, pratiquées dans des tailles latérales et à 6 m. de la galerie, formaient avec elle des angles aigus, en sorte qu'elles ne pouvaient être atteintes par dilatation de l'air dans le sens de l'explosion, mais seulement par contraction; elles furent pourtant défoncées. A 280 mètres de l'explosion, des bois de m. 0,18 furent brisés, une porte d'aérage fut enlevée, et des effets violents de même nature se manifestèrent jusqu'à 500 mètres de distance.

Dans une mine de Schaumburg, le grisou, remplissant une galerie et un puits d'environ 800 mètres cubes de capacité, prit feu en 1839; des pierres qui pesaient plus d'une tonne, servant de fondation à une machine hydraulique du poids de 12 tonnes, furent déplacées malgré de forts étais en bois qui les consolidaient contre la direction de l'explosion et qui furent eux-mêmes brisés. Dans une autre mine de la même principauté, le feu fut mis à la houille, et cette houille fut carbonisée, par l'effet de l'incendie, jusqu'à la profondeur d'un mètre.

Dans les mines où le courant d'air n'est pas assez rapide pour amener la diffusion des gaz, les grisous se liquatent et forment,

dans les parties supérieures des travaux, des amas de gaz inflammables et non détonants; ces gaz, prenant feu, peuvent communiquer l'inflammation à des distances très-éloignées et dans des atmosphères explosives où toutes les précautions étaient prises. Tel fut, en août 1839, le coup de feu de la mine de Hostenbach : un ouvrier, ayant placé sa lampe vers la partie supérieure d'une galerie, enflamma des gaz qui communiquèrent aussitôt le feu à des gaz détonants situés à un étage inférieur.

Le coup de feu de la mine de l'Espérance, qui eut lieu près de Liége en juin 1838, ne paraît avoir produit des effets si funestes que par des phénomènes analogues. Le feu, s'étant propagé sans explosion, à droite et à gauche d'une taille et par l'effet d'un coup de mine, détermina une explosion dans une taille fort éloignée. Soixante-neuf mineurs furent tués. Dans la taille de l'explosion, ils avaient été brûlés et brisés; dans celle où le feu avait pris en premier, tous les cadavres étaient placés la tête vers l'endroit même où l'inflammation avait commencé; ces malheureux ayant évidemment cherché à se garantir ainsi des gaz qui brûlaient derrière eux. Dans d'autres tailles, les ouvriers n'avaient péri que par asphyxie.

La seule relation de ces accidents et la connaissance des propriétés physiques du grisou suffisent pour indiquer les précautions générales à prendre. Ainsi il est essentiel de ne placer les lampes que vers les parties inférieures des excavations; d'éviter tout mode de travail qui conduirait à pratiquer des montages sans issues; d'exploiter, s'il est possible, en descendant, et de redoubler de précautions lorsqu'on entre dans des excavations après une interruption dans le travail. Un grand nombre d'accidents ont eu lieu, par exemple, le lundi matin, lorsque les mineurs descendaient après avoir abandonné la mine le dimanche. M. Bischof rapporte qu'ayant été visiter une galerie ainsi abandonnée depuis quelques jours, il trouva les gaz liquatés de telle sorte qu'ils étaient seulement inflammables dans toute la partie du haut, détonants dans la partie moyenne, tandis que l'air atmosphérique presque pur remplissait la partie inférieure.

Il est très-dangereux de laisser ces liquations se produire ; il faut donc que le courant d'air soit assez actif pour produire de suite la diffusion du gaz dans l'air et son entraînement hors la mine avant que le mélange ait pu devenir explosif. Mais, malgré les précautions de l'aérage, beaucoup de mines seraient complétement inexploitables si l'on n'avait trouvé des moyens spéciaux de se garantir du grisou. Il est en effet des moments où le gaz afflue avec une telle abondance dans les tailles, soit par des soufflards mis à découvert, soit par des éboulements qui en émettent subitement une grande masse, que l'explosion serait inévitable toutes les fois qu'il y aurait une lampe allumée. Les couches de houille, si dangereuses, sont d'ailleurs celles qui sont les plus recherchées par leurs qualités grasses et maréchales; la science et l'industrie ont donc été appelées, dans les contrées dont l'exploitation de la houille formait la richesse, à rechercher des moyens de combattre les effets du grisou, et nous allons exposer ceux qui ont été successivement employés.

Moyens de détruire le grisou dans les travaux souterrains.

La première idée qui vint aux exploitants fut de se débarrasser du gaz en laissant la liquation s'établir et en y mettant le feu de manière à le brûler en l'absence des ouvriers. A cet effet, un ouvrier, couvert de vêtements en cuir mouillé, le visage protégé par un masque à lunettes, s'avançait en rampant sur le ventre dans les galeries où le grisou existait, se faisant précéder par une longue perche au bout de laquelle était une torche enflammée ; il sondait ainsi les anfractuosités des plafonds, le front des tailles, et mettait le feu aux grisous. Cette méthode, qui était encore employée il y a vingt ans dans le bassin de la Loire, a des inconvénients nombreux. L'ouvrier, qu'on appelait *pénitent*, était exposé à des dangers tels qu'il en périssait un assez grand nombre. Lorsque le gaz, au lieu d'être simplement inflammable, était détonant, la solidité de la mine était constamment compromise par ces explosions; le feu attaquait la houille et le boisage; les

gaz qui résultaient de la combustion stationnaient dans les travaux et menaçaient les ouvriers d'asphyxie ; enfin il fallait, dans certaines mines, répéter jusqu'à trois fois par jour cette périlleuse opération, et encore n'obviait-elle nullement aux dégagements subits qui causaient encore des accidents nombreux. Cette méthode était également en usage dans les mines d'Angleterre ; seulement le pénitent ou *fireman*, au lieu de porter lui-même le feu, le faisait mouvoir au moyen d'un curseur placé sur une ligne de perches liées bout à bout, et dirigé par un système de poulies et de cordes. Le danger était ainsi moindre pour le fireman, qui se retirait dans une niche placée dans une galerie voisine ; mais cependant beaucoup étaient encore atteints, et d'ailleurs tous les autres inconvénients subsistaient.

Le moyen dit des *lampes éternelles* était évidemment meilleur. Il consistait à placer vers le toit des tailles, et dans tous les points où le grisou se rassemblait, des lampes constamment allumées qui brûlaient le grisou à mesure qu'il se produisait ; le danger était diminué dans une proportion notable, puisqu'il ne pouvait se former de grandes accumulation de gaz inflammable ou détonant. On renonça pourtant à ce procédé dans un grand nombre de mines, à cause de la production de l'acide carbonique et de l'azote ; production d'autant plus sensible que, pour faciliter la liquation des gaz, l'air ne devait pas être fortement agité. Enfin on avait songé à mettre à profit la propriété que possède le platine en éponge de provoquer la combustion de l'hydrogène avec lequel il est mis en contact, et l'on avait fait des pelotes composées d'une partie de platine et de deux d'argile, qu'on plaçait ensuite vers les points de rassemblement du grisou. Mais toutes ces tentatives, basées sur la combustion provoquée du grisou, n'étaient que des palliatifs dangereux et incomplets, qui substituaient à un grand péril une série d'autres dangers moins imminents sans doute, mais également funestes. Dès lors tous les bons esprits durent chercher des procédés basés sur un autre principe. Deux seulement pouvaient conduire à un bon résultat : 1° l'entraînement des gaz hors la mine ; 2° un éclairage

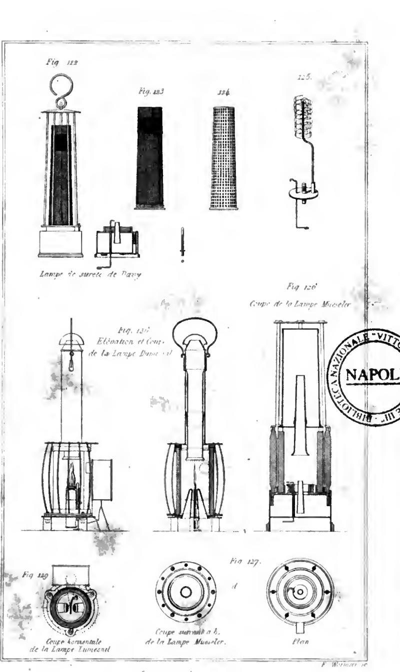
différent de celui qui était en usage et qui pût suffire au mineur sans compromettre sa sûreté.

Le principe d'entraînement des gaz par un aérage rapide est, sans contredit, celui qu'il était le plus naturel de concevoir, puisqu'il était déjà appliqué pour tous les autres gaz délétères. Le docteur Vehrle proposa d'abord d'opérer la décantation des gaz, en faisant communiquer toutes les tailles, par des conduits ascendants, avec une galerie embrassant tous les travaux et communiquant à un puits de sortie; mais ce projet, d'ailleurs impraticable, n'eût remédié qu'à une partie des accidents; l'exécution seule des travaux nécessaires n'aurait pu se faire sans les plus grands dangers, si ces travaux avaient été entrepris dans la houille, tandis que, dans les roches du toit, les frais les auraient rendus inexécutables. Les principes émis par le docteur Vehrle sur la manière de profiter, pour conduire les gaz, de leur faible densité, et de se servir des étages supérieurs pour purger les étages inférieurs, au moyen de sondages; sur les proportions à établir entre la section des conduits et des galeries et la quantité des matières gazeuses qui doivent y circuler; ces principes étaient d'ailleurs très-sensés, et viennent naturellement à l'idée dès qu'il s'agit de déterminer la marche de l'air dans une mine sujette au grisou. Mais un bon aérage ne pouvait suffire pour mettre les mineurs à l'abri; c'était un excellent moyen auxiliaire, mais qui laissait toujours sans solution ce problème important : *empêcher l'inflammation des gaz qui se dégagent de la surface des tailles.*

L'éclairage seul pouvait conduire à la solution de ce problème, et de nombreux essais avaient été tentés dans cette voie, lorsque Davy découvrit la lampe de sûreté. Avant lui, on se servait d'un très-petit nombre de lumières placées dans les endroits les plus bas et à distance des tailles; les ouvriers avaient l'œil sur ces lampes, et lorsque le nimbe bleu, indice de l'hydrogène, commençait à se montrer, ils les éteignaient ou se retiraient en les couvrant de leur chapeau. On se servait aussi, dans les mines les plus infectées, de diverses matières phosphorescentes, et surtout d'un mélange de farine et de chaux fabriquée avec des écailles

d'huîtres, appelé phosphore de Canton, bien que la clarté incertaine et éphémère que produisaient ces matières fût d'une bien faible ressource. Enfin on avait observé déjà que l'hydrogène protocarboné était d'une inflammation assez difficile et que la chaleur rouge était insuffisante pour la déterminer; ainsi l'on pouvait porter un charbon rouge, un fer rouge dans le grisou sans l'enflammer, la chaleur blanche ayant seule la température nécessaire. On mit à profit cette découverte en éclairant les tailles au moyen d'une roue d'acier qu'on faisait tourner contre un morceau de grès; un ouvrier était employé à ce travail, et les étincelles, ainsi produites d'une manière continue, suffisaient pour éclairer les mineurs. Il arriva bien quelquefois que ces étincelles mirent le feu au grisou; mais cette découverte, tout incomplète qu'elle était, ne fut pas moins déjà un bienfait réel.

Tel était l'état de la question, lorsque Davy commença la série des expériences qui le conduisirent au but. Beaucoup de mines étaient abandonnées malgré tous les palliatifs en usage, et bon nombre de celles qui étaient maintenues en activité ne produisaient la houille qu'au prix de la vie d'un grand nombre d'hommes. Davy découvrit que le gaz contenu dans un vase, ne communiquant à l'extérieur que par des tubes longs et étroits, ne pouvait pas être enflammé; que la flamme pouvait d'autant moins se transmettre que les tubes étaient d'un diamètre moindre, et que, par conséquent, plus leur diamètre était réduit, plus leur longueur pouvait être diminuée. Il arriva ainsi à constater qu'une lame de métal mince, percée de trous d'environ un centième de pouce, n'enflammait pas des grisous extérieurs, lors même que l'intérieur était rempli de grisous enflammés; le refroidissement éprouvé par les gaz dans ce trajet si minime suffisait pour réduire la température du rouge blanc de l'intérieur au-dessous du rouge à l'extérieur, et l'inflammation ne pouvait se communiquer. Telle fut la série d'idées qui conduisit Davy à entourer la flamme des lampes d'une enveloppe en toile métallique, et à construire ainsi a *lampe de sûreté*.



Lampes de sûreté

Lampe de sûreté de Davy.

La lampe de Davy, établie suivant les dimensions et les formes reconnues les meilleures dans la pratique des mines, est représentée fig. 122. Elle se compose de trois parties distinctes.

La lampe proprement dite est composée d'un réservoir contenant 160 grammes d'huile, qui peuvent suffire à dix heures de travail; ce réservoir est cylindrique et peu élevé, de sorte que l'huile est toujours près de la mèche. Le porte-mèche est un tube de 0,005 de diamètre et de 0,030 de longueur; il est muni d'une ouverture rectangulaire dans laquelle on peut engager un fil de fer recourbé à son extrémité pour lever ou baisser la mèche. Ce fil de fer traverse le réservoir au moyen d'un tube soudé aux plaques du dessus et du dessous; un autre tube traverse encore ces deux plaques et sert au passage d'une vis qui réunit les diverses parties de la lampe et la ferme de telle sorte que l'ouvrier auquel on la remet pour son poste de travail ne puisse jamais l'ouvrir.

La lampe est coiffée d'un cylindre en toile métallique (fig. 123) qui contient 144 ouvertures rectangulaires par centimètre carré de surface. L'épaisseur des fils est de $\frac{28}{100}$ de millimètre, la largeur des trous $\frac{56}{100}$ de millimètre; ce qui fait $\frac{4}{9}$ de plein et $\frac{5}{9}$ de vide. La hauteur de ce cylindre est de m. 0,15; le diamètre à la base est de 0,040 et de 0,035 à la partie supérieure; il est fermé en haut par deux toiles, de telle sorte que, si l'une d'elles était altérée par l'action de la flamme, il y eût encore une fermeture de sûreté. Ces deux toiles sont quelquefois remplacées par un capuchon métallique percé de trous. La base de ce cylindre en taille métallique est maintenue par une virole, et le tout est replié en dehors de manière à laisser saillir un rebord de plusieurs millimètres.

Une cage ou armature, composée de petits barreaux fixés sur deux viroles, reçoit le cylindre en toile métallique, qu'elle garantit des chocs extérieurs; de plus, elle comprime, au moyen

d'un taraudage extérieur engagé dans le taraudage intérieur que présente la lampe, le rebord de la toile sur la surface du réservoir et réunit ainsi les trois pièces ; cet état de fermeture est en outre maintenu par la vis latérale précédemment indiquée.

Cette lampe de sûreté étant portée dans une atmosphère chargée de grisou, fournit des indications précieuses sur les proportions du mélange. La proportion d'air étant supérieure à quinze parties contre une de grisou, la flamme de la mèche se dilate et s'élargit ; le mélange étant devenu inflammable, c'est-à-dire contenant un treizième, prend feu et brûle dans l'intérieur du cylindre de toile métallique. Les ouvriers doivent alors consulter leur lampe à chaque instant, car d'abord le cylindre n'est rempli que par une flamme bleue au milieu de laquelle on distingue facilement la flamme de la mèche ; mais lorsque la proportion de grisou augmente, l'intensité de cette flamme augmente aussi, et à la proportion d'un sixième la flamme de la lampe cesse d'être visible et se perd dans la flamme totale ; enfin, la proportion étant d'un tiers, la lampe s'éteint.

Les mineurs ne doivent pas attendre ce moment pour se retirer ; mais, dans le cas où ils seraient surpris par un dégagement subit, le maître mineur doit être pourvu d'une lampe armée de fils de platine tournés en spirale au-dessus de la mèche, ainsi que l'indique la fig. 125. Le platine, échauffé par la flamme, conserve, au moment où elle s'éteint, la propriété de brûler le gaz en contact avec sa surface ; les fils restent donc lumineux, et cette faible lueur suffit pour guider la retraite des ouvriers. Lorsqu'on rentre dans une atmosphère plus riche en oxygène, le platine rallume le gaz dans le cylindre, et le gaz rallume la mèche. Il faut employer huit fils de 0,0003 de diamètre pour conserver une lumière suffisante.

La lampe de sûreté n'est pas exempte de tout danger dans une atmosphère explosive ou inflammable. Ainsi il peut arriver que la chaleur développée à l'intérieur soit telle qu'un ou plusieurs fils déjà affaiblis par l'usure brûlent et laissent passer la flamme à l'extérieur ; un mouvement brusque de l'air a quel-

quefois chassé la flamme au delà de la toile, notamment lorsqu'un mineur voulait éteindre sa lampe en soufflant ; enfin, des particules, des poussières de charbon, venant se placer sur les fils de la toile, ont pris elles-mêmes feu et l'ont communiqué à l'atmosphère.

Ces divers inconvénients peuvent sans doute être prévenus par un entretien soigneux et attentif; mais lorsqu'on doit travailler d'une manière continue dans un air explosif ou inflammable, il faut ajouter d'autres garanties à celles de la lampe ordinaire. Pour cela, on recouvre la lampe d'une double enveloppe, celle de l'intérieur étant composée d'un cylindre de cuivre laminé percé de trous rectangulaires (*voy.* fig. 124); le pouvoir réfrigérant de l'appareil est ainsi augmenté, de telle sorte qu'il n'y a aucun danger de travailler dans les mines les plus infectées. On s'est également servi avec succès de lampes dont la toile était composée de la réunion de plusieurs fils tressés.

La lampe de sûreté est devenue, depuis 1815, d'un usage général dans les mine ssujettes au grisou ; mais, malgré les précautions minutieuses employées pour leur entretien, il est encore arrivé de nombreux accidents. En Angleterre, par exemple, les accidents furent plus nombreux qu'avant l'emploi des lampes de sûreté ; d'abord parce qu'on reprit à cette époque bon nombre de mines abandonnées, et en second lieu parce que la sûreté dépend non-seulement de l'emploi des lampes, mais aussi de l'exécution sévère des règlements du service d'éclairage, dont les principales clauses sont :

1° Les lampes doivent être fabriquées par des ouvriers experts avec de la toile vérifiée, en fer ; leurs dimensions ne devant pas dépasser celles que nous avons indiquées, afin d'éviter la trop grande élévation de la température intérieure. Avant leur emploi, elles doivent être soumises à un essai dans un gaz inflammable.

2° L'entretien des lampes doit être confié à un ou plusieurs ouvriers n'ayant pas d'autre occupation. A chaque poste de travail ils les livrent garnies, allumées et bien fermées aux ouvriers mineurs, et les reçoivent d'eux à la sortie; chaque lampe est numérotée, de telle sorte que l'ouvrier reçoive toujours la même.

Les altérations autres que celles qui résultent de l'usure naturelle sont à la charge des mineurs, et toute tentative d'ouverture est punie d'une amende.

3° Les mineurs ont ordre de se retirer à un point déterminé de l'état de la lampe; il leur est expressément défendu de les souffler pour les éteindre. Dans les tailles, ils doivent les placer un peu loin des fronts, à l'abri des chocs et des mouvements vifs de l'air, et vers la partie inférieure de l'excavation. Lorsque l'air est inflammable, ils doivent refroidir de temps en temps la lampe avec un linge mouillé. Si une des toiles vient à brûler, l'ouvrier qui s'en aperçoit doit éteindre la lampe avec de l'eau, ou bien mettre la lampe dans son chapeau en bouchant la partie attaquée, puis se retirer aussitôt.

4° L'état de l'atmosphère doit être constaté de temps en temps par le maître mineur; il doit ne le faire qu'avec une bonne lampe de sûreté à double enveloppe. S'il existe des digues ou des corrois, il en surveillera l'état, mais ne devra pas même présenter la lampe de sûreté devant les fissures, qui pourraient donner lieu à des soufflards [1].

Pour éviter les pertes de lumière, on a souvent employé des réflecteurs. Ces réflecteurs sont placés dans l'intérieur de la toile métallique, afin d'augmenter le pouvoir réfrigérant de l'appareil en même temps que son pouvoir éclairant. Cette disposition a encore l'avantage d'empêcher ou du moins de diminuer l'action des courants d'air qui tendent à faire traverser la toile métallique par la flamme.

Lampes de sûreté perfectionnées.

Les perfectionnements dont la lampe de Davy est susceptible ont dû naturellement porter sur ses imperfections, qui sont : 1° la déperdition de lumière, qui varie d'un quart à un tiers de

[1] C'est en présentant la lampe devant les fissures d'un barrage que M. Lagrange, ingénieur des mines du Creuzot, provoqua, derrière le barrage, une explosion qui renversa ce barrage sur lui et le tua. Cet examen était fait avec une lampe ordinaire; mais lorsqu'il existe des soufflards inflammables, la flamme traverse les tissus métalliques.

la lumière produite, suivant l'état de la toile; 2° l'action trop énergique de la flamme sur la partie supérieure du cylindre; 3° le danger des mouvements vifs et subits de l'air, qui peuvent faire passer la flamme à travers la toile.

Les perfectionnements consistent jusqu'à présent dans la substitution d'une enveloppe en verre à une portion de l'enveloppe en toile métallique, et dans l'emploi de cheminées de tirage qui reçoivent le courant des gaz brûlés et les isolent des gaz extérieurs par la propriété qu'ont les tubes longs et étroits de ne pas laisser passer la flamme.

Roberts, qui fit la première lampe perfectionnée, n'avait pour but que de remédier au passage de la flamme à travers la toile métallique par l'effet de l'agitation de l'air; à cet effet il enveloppa le cylindre de toile jusqu'aux deux tiers de sa hauteur par un tube en verre serré entre deux viroles et garanti des chocs extérieurs par les barreaux de la cage. L'air d'alimentation arrivait à la hauteur du porte-mèche par des trous percés dans la virole inférieure, et était conduit autour de la mèche, après avoir traversé deux toiles métalliques, par un petit cône qui, ne laissant ouverte qu'une zone annulaire, l'obligeait à raser la flamme. Des expériences multipliées ont prouvé que les lampes Roberts étaient des plus sûres, et que, dans les circonstances les plus défavorables, elles ne laissaient pas passer la flamme. Mais ces lampes éclairent encore moins que la lampe Davy, et la circulation de l'air y est trop entravée, surtout lorsque la poussière de la houille et l'huile ont en partie obstrué les mailles des toiles intérieures; enfin elles coûtent quatre fois le prix des lampes Davy. Tous ces motifs réunis ont empêché l'emploi de s'en répandre.

La lampe de M. Mueseler (fig. 126 et 127) présente des innovations plus hardies et plus efficaces. La flamme y est contenue par une enveloppe en verre épais, surmontée d'une enveloppe en gaze métallique; l'air nécessaire à la combustion entre par la gaze métallique, descend le long du verre, et les gaz brûlés s'élèvent, suivant l'axe de la lampe, dans une cheminée de tôle.

La partie supérieure de la lampe est garantie par les moyens ordinaires, et une cage préserve l'appareil de sûreté des chocs extérieurs. La hauteur totale de cette lampe est de 0,35; son poids et son volume sont donc notablement plus forts que dans la lampe Davy, et c'est le reproche principal qui lui a été fait par la commission belge qui fut chargée en 1838 d'expérimenter toutes les lampes de sûreté comparativement à la lampe Davy. L'enveloppe en verre est recuite de manière à pouvoir supporter les différences de température et même la projection de l'eau lorsque la lampe est suréchauffée par le gaz; elle doit surtout être mise à l'abri des chocs, car la fracture du verre détruirait toute sûreté. A côté de ces inconvénients, cette lampe présente l'avantage d'être, tant qu'elle est intacte, plus sûre que celle de Davy, et d'avoir un pouvoir éclairant bien supérieur.

Les mêmes avantages et les mêmes inconvénients existent pour la lampe de M. Dumesnil, représentée fig. 128 et 129. Dans cette lampe, le cylindre de gaze métallique est entièrement remplacé par un tube en verre surmonté d'une cheminée longue et étroite et terminée à sa partie supérieure par un orifice rétréci, tandis que la partie inférieure est un peu évasée en forme d'entonnoir. Un réservoir d'huile extérieur alimente une mèche plate de chaque côté de laquelle l'air arrive par deux tubes adducteurs dont les ouvertures ont 0,019 sur 0,006, et qui sont pourvus à leur extrémité d'une double toile métallique en cuivre ayant 500 ouvertures par centimètre carré. La lampe est suspendue par la cheminée, et le corps est garanti par une armature composée de petits barreaux fixés sur les viroles, entre lesquelles est serrée l'enveloppe en cristal.

La commission belge eut l'heureuse idée de remplacer l'enveloppe simple en cristal par deux enveloppes concentriques; ce qui rend tout à fait sûr l'emploi de ces lampes, d'ailleurs si avantageuses par leur pouvoir éclairant. Des lampes faites sur ces principes avec toutes les précautions indiquées par la pratique, ne peuvent manquer de rendre de grands services dans les tailles

où la lumière est un des éléments qui peuvent rendre l'abattage prompt et économique.

Éclairage ordinaire.

L'éclairage des mines, réduit aux conditions ordinaires, est tellement simple qu'il est à peine besoin de s'y arrêter. Les conditions de construction auxquelles satisfont d'ailleurs beaucoup de formes de lampes, sont d'être portatives, solides, et de ne pas laisser échapper l'huile quelle que soit leur position et lors même qu'on les laisse tomber; enfin d'avoir assez de capacité pour contenir de l'huile pour dix heures. La forme la plus ordinaire est celle d'un ellipsoïde très-aplati, horizontalement suspendu à une fourche qui tient elle-même un crochet. La mèche est ronde; elle trempe directement dans l'huile et passe avec frottement à travers un porte-mèche fixe; une aiguille pour la gouverner, suspendue à une petite chaîne, complète l'appareil.

Ainsi que dans les lampes de sûreté, la consommation pour une lampe d'un bon calibre est d'environ 160 grammes par dix heures de travail. Il est d'usage de donner aux mineurs l'huile en compte; de cette manière on évite le gaspillage, et l'on est arrivé à réduire la consommation moyenne à 70 grammes par poste de huit heures et par homme, car il n'est pas nécessaire d'avoir dans un chantier autant de lampes que de mineurs.

Dans quelques mines on brûle de la chandelle; ces chandelles sont courtes et petites; il y en entre environ 200 par kilogramme, et les ouvriers en consomment 25 par poste. On les brûle sur des chandeliers armés d'une pointe horizontale que les mineurs enfoncent dans les boisages ou dans la roche.

Aérage spontané.

Tout ce qui a été dit précédemment sur les conditions de l'air dans les mines démontre que, dans tous les cas, il faut arriver à entretenir dans les travaux d'abattage et dans les voies de service un courant d'air assez actif pour amener la diffusion des gaz méphitiques avec l'air atmosphérique et l'entraînement du

mélange avant qu'il ait pu devenir dangereux. Il faut donc qu'il entre constamment dans une mine un volume d'air pur, pour remplacer l'air vicié; et la création de ce mouvement continue constitue l'*aérage*.

L'aérage ne consiste pas seulement dans la création des courants d'air; il embrasse encore les méthodes de distribution de l'air dans les travaux souterrains, et tous les moyens qui peuvent en rendre la circulation plus simple et plus efficace. Avant de s'occuper des directions à donner aux courants, il convient d'ailleurs de décrire les principes et les procédés qui servent à les produire ou à les activer.

L'aérage d'une mine est le plus souvent *artificiel;* il est quelquefois *spontané.*

Lorsque des travaux souterrains sont à grande section, que les puits sont peu profonds, les galeries droites et surtout peu développées, il se produit presque toujours des courants d'air naturels qui résultent de ce qu'on appelle l'aérage spontané. Cette circulation naturelle de l'air résulte elle-même de la température constante qui existe dans les mines, tandis que la température extérieure varie dans les limites très-éloignées, d'une saison à l'autre, et dans des limites moins distantes, du jour à la nuit.

En effet, dans les travaux souterrains, la température des roches s'élève à mesure qu'on descend; cette augmentation est générale, et elle a lieu, suivant la même progression, dans toutes les parties du globe où il y a des exploitations et où l'on a pu faire des expériences. Ainsi, dans les mines métallifères de Saxe et de Bohême, dans celles du Cornwall, de Poullaouen en Bretagne, dans les profondes mines de houille du bassin septentrional, dans les mines d'argent du Mexique, des thermomètres placés soit dans des trous de mine, soit dans des endroits où l'air n'était pas renouvelé, ont toujours indiqué une température croissante à mesure qu'on descendait, et l'augmentation a été moyenne d'un degré par 30 mètres de profondeur [1].

[1] Cette loi d'accroissement de la température du globe a été récemment confirmée par les expériences suivies pendant le forage du puits artésien de Grenelle, jusqu'à la profondeur de 540 mètres,

La température des roches est donc généralement, à 50 mètres de profondeur, de 10° à 12°; à 100 mètres, de 13° à 15°; à 200 mètres, de 16° à 18°; à 300 mètres, de 19° à 22°; à 400 mètres, de 23° à 25°. La température de l'air dans les travaux est encore supérieure à ces chiffres dans les endroits où il n'y a pas une circulation assez vive, parce que la présence des ouvriers et des lampes amène presque toujours un suréchauffement. Ainsi, dans les mines de houille du grand Hornu (Mons), l'air des tailles placées à 222 mètres de profondeur était à 19°, tandis que la température de la houille n'était que de 16° ½. Ce suréchauffement qui était de 2 ½ est quelquefois du double et au delà dans les mines où il se trouve des accumulations de houille suréchauffée ou embrasée, et dans celles où il existe des pyrites en décomposition; dans d'autres enfin où il se rencontre, comme au Mexique, des sources thermales, l'exploitation est poursuivie malgré une température de 36°, et même 40°.

Il y a au contraire abaissement de la température de l'air comparativement à celle de la roche, dans les voies où la circulation est activée soit par un aérage forcé, soit par la circulation qui résulte de la chute des eaux d'infiltration en pluie fine, ainsi qu'il arrive dans un grand nombre de puits.

En comparant la température souterraine à celle de l'extérieur, qui sera quelquefois de — 15° et 20° en hiver, de + 20° et + 30° en été, on voit qu'il se présentera des cas où les densités de l'air intérieur et extérieur seront tellement différentes qu'il y aura un aérage spontané. Ainsi, il y a tel cas en hiver où les densités présenteront des différences de $\frac{1}{5}$, et dès lors il se produira nécessairement des courants vifs tendant à rétablir l'équilibre. En été, l'aérage sera généralement beaucoup plus difficile, et même l'équilibre ou stagnation existera naturellement dans un assez grand nombre de cas.

Il est actuellement facile de se rendre compte des diverses circonstances que présentera l'*aérage spontané*, ainsi basé sur les différences des températures et sur l'équilibre des densités.

Lorsqu'une excavation, ou même une série d'excavations, ne

communiquera avec l'air extérieur que par un seul puits, l'air froid de l'extérieur descendra pendant l'hiver en suivant l'axe de ce puits, tandis que l'air chaud de l'intérieur s'élèvera en suivant les parois. Dans les galeries l'air chaud suivra le faîte de l'excavation, et l'air froid en rasera le sol. En été, les courants seront très-faibles et n'auront lieu que dans les moments du jour et de la nuit où il y aura à l'extérieur une température moins élevée qu'à l'intérieur; il y aura stagnation complète lorsque la différence sera nulle ou qu'elle aura lieu en sens inverse, c'est-à-dire lorsque l'air intérieur sera le plus dense.

Si des travaux communiquent à l'extérieur par deux orifices (puits ou galeries) et que ces deux orifices soient absolument dans les mêmes conditions de section, de niveau et d'exposition, les phénomènes seront les mêmes que précédemment; mais ils changeront aussitôt qu'il y aura quelqu'une de ces différences entre les orifices.

S'il y a seulement différence de section sans qu'il y ait différence de niveau; l'air froid descendra par l'orifice à grande section, et l'air chaud s'élèvera par celui dont la section sera plus petite. Un courant inverse pourra se produire en été, mais faiblement; en effet, l'air extérieur étant le moins dense et ayant un accès plus libre dans la plus grande des deux excavations, l'air pourrait être un peu plus léger dans celle-ci que dans l'autre. Mais si les deux orifices, puits ou galeries, débouchent à un niveau différent, il y aura presque toujours mouvement.

En hiver, l'air extérieur étant le plus dense entrera par l'orifice dont le niveau est le plus bas, et sur lequel il y a par conséquent une pression plus considérable; cet air sortira suréchauffé par l'orifice dont le niveau est le plus élevé. Le courant inverse aura lieu en été lorsque ce sera l'air intérieur qui sera le plus dense, parce que la colonne la plus élevée de cet air ne pourra être équilibrée par celle de l'orifice dont le niveau est inférieur. Ce n'est que dans les moments de transition de température, vers les équinoxes, par exemple, qu'il y aura indécision des courants et même stagnation de l'aérage spontané.

Enfin l'exposition des orifices peut encore avoir une influence

notable sur l'aérage spontané, et cette influence peut aller elle-même jusqu'à renverser la direction naturelle des courants. Il peut arriver par exemple qu'une galerie, aboutissant dans une vallée froide, communique avec un puits placé au contraire sur un plateau exposé aux rayons solaires, et que dès lors, été comme hiver, le courant d'air sorte par le puits. Le vent exerce aussi de l'influence, l'orifice d'une galerie pouvant être exposée de manière à recevoir les vents les plus fréquents suivant son axe; on augmente même dans beaucoup de cas cette influence du vent en plaçant à l'orifice des puits d'entrée et de sortie de l'air, des entrées mobiles qu'on oriente à volonté, et qu'on dispose de manière à faciliter les courants. La figure 130 représente un puits divisé en deux sections, dont l'une sert à l'entrée et l'autre à la sortie de l'air, ce mouvement étant facilité par des orifices qui s'orientent d'eux-mêmes au moyen de girouettes. Cette disposition est très-usitée en Angleterre.

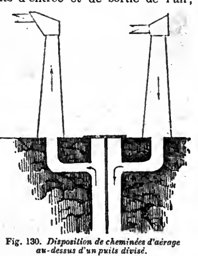


Fig. 130. *Disposition de cheminées d'aérage au-dessus d'un puits divisé.*

Les éléments de l'aérage spontané sont donc : la différence de section des orifices, la différence de niveau et celle de l'exposition. Cet aérage étant beaucoup plus facile en hiver qu'en été, il est évident qu'on devra faire entrer ces éléments dans la disposition des travaux, de manière à favoriser les courants d'été; on pourra de plus ajouter par certaines dispositions artificielles, aux différences qui déterminent les courants. Ainsi, indépendamment des orifices d'entrée et de sortie déjà indiqués, on dispose souvent sur un puits une haute cheminée destinée simplement à déterminer ou à augmenter la différence de niveau des deux orifices d'entrée et de sortie de l'air.

Dans le foncement d'un puits on serait bientôt arrêté par le manque d'air, si l'on ne divisait la section totale en deux parties inégales au moyen d'une cloison en planches, dont les joints sont hermétiquement bouchés avec de la mousse. Le compartiment principal sert au mouvement alternatif des bennes, et le plus petit est réservé pour les échelles; le mouvement de l'air s'établit entre ces deux compartiments comme dans une excavation à deux orifices. On facilite quelquefois ce mouvement en élevant le niveau de l'orifice du plus petit compartiment au moyen d'un exhaussement en planches.

Le percement d'une longue galerie deviendrait impossible, par le manque d'air si l'on n'avisait à y produire un aérage spontané par des moyens analogues. Ainsi, on dirigera de la surface du sol vers la galerie, des trous de sonde, qui la mettront dans le cas des travaux à deux orifices de niveaux différents et d'inégale section. D'autres fois on établira sur des traverses un plancher de roulage qui réservera la partie inférieure de la galerie, à son assèchement et au courant de l'air, lequel entrera par cette partie inférieure et ressortira par la section principale, figure 131. Si

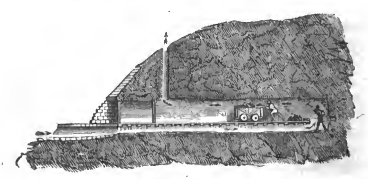


Fig. 131. *Aérage d'une galerie.*

cette précaution ne suffit pas, on peut activer le courant au moyen d'un petit puits disposé de manière à accélérer la circulation pendant toute la durée du travail. A cet effet, deux portes sont placées à l'entrée de la galerie, de telle sorte que l'une des deux

reste toujours fermée pendant le service, et que l'air est obligé de sortir par le puits. Cette disposition place le travail dans le cas d'une excavation à deux orifices de niveau différent.

Aérage artificiel. — Foyers d'aérage.

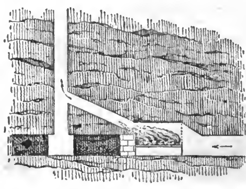
L'aérage spontané des mines n'est plus suffisant lorsque les travaux souterrains sont profonds, développés, sinueux, à petite section, et surtout lorsqu'il se produit une proportion notable de gaz délétères. Pour entretenir un air respirable et propre à l'éclairage il devient donc indispensable de provoquer par des moyens artificiels un *aérage forcé*. L'aérage forcé est d'ailleurs basé sur les mêmes principes que l'aérage spontané, c'est-à-dire que les travaux souterrains étant mis en communication avec l'extérieur par deux orifices, il suffit de produire dans l'un d'eux, une dilatation ou une condensation de l'air, ou, en d'autres termes, une diminution ou une augmentation de densité, pour déterminer un courant ascendant ou descendant, de sorte que l'air appelé par un des orifices puisse être distribué dans les travaux avant de sortir par l'autre.

La question d'aérage est donc ramenée aux procédés de dilatation et de condensation de l'air en un point donné; les procédés de dilatation sont les plus fréquemment appliqués, et parmi eux l'emploi du feu est surtout d'un usage très-répandu.

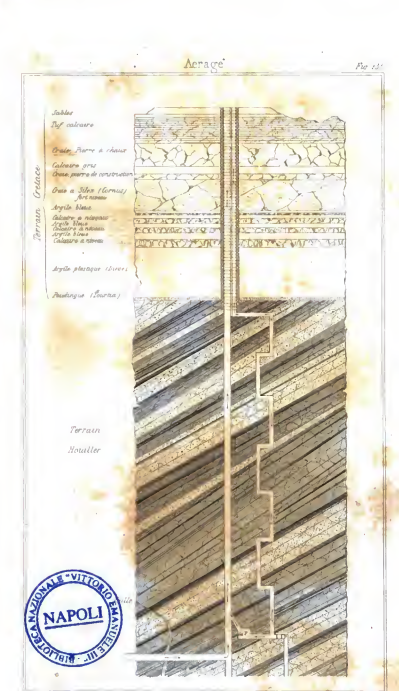
En effet, si l'on dispose un foyer dans un des puits, ce foyer, devant puiser de l'intérieur l'air nécessaire à sa combustion, produira un appel de l'air vers le point où il sera placé; en outre, l'échauffement de la colonne d'air qui traversera ou touchera le foyer, ajoutera encore à ce mouvement d'appel, et le courant déterminé sera d'autant plus énergique que le foyer sera plus puissant. Ces foyers peuvent donc être combinés de manière à venir en aide à l'aérage spontané; on peut à volonté les activer ou les ralentir, et même ne les faire fonctionner que dans les saisons défavorables. Les frais d'installation de ces foyers d'aérage sont d'ailleurs peu coûteux, et leur emploi est presque général dans les contrées où le combustible est à bas prix, notamment dans

les mines de houille où l'on peut y consacrer des combustibles de rebut.

Lorsqu'il n'est besoin que de suppléer à un aérage spontané et qu'il n'existe pas de gaz inflammables dans la mine, le foyer est souvent allumé sur une grille en forme de corbeille suspendue par une chaîne dans le puits d'appel ; c'est ce qu'on appelle le *tocfeu*. La chaîne de suspension du tocfeu est ordinairement enroulée sur le tambour d'un treuil de telle sorte qu'on peut le placer au niveau qu'on juge le plus convenable ; mais cette disposition n'est pas justifiée en ce sens que la place la plus avantageuse pour le foyer est évidemment la partie inférieure du puits d'aérage, afin que le mouvement se produise dans toute la hauteur du puits comme dans une cheminée. Il est donc plus rationnel d'établir, vers la base du puits, et dans une galerie spéciale, une grille horizontale disposée de manière à appeler l'air intérieur et à jeter dans le puits l'air chaud et les gaz de la combustion (fig. 132). Si cette galerie est une voie de roulage, on place le foyer dans un conduit latéral aboutissant également au bas du puits et on ferme, par deux portes d'aérage, le prolongement de la galerie au delà de la prise d'air (fig. 134).


Fig. 132. *Disposition d'un foyer d'aréage.*

Mais s'il existe dans la mine des gaz inflammables, l'arrangement des foyers doit être tel que la combustion soit toujours alimentée par l'air pur ; ou bien si la disposition des travaux oblige à employer l'air vicié qui sort de la mine, il faut se mettre en garde contre les cas où cet air serait inflammable ou détonant. Les précautions à prendre consistent à ne faire arriver sous le foyer l'air vicié des travaux qu'après lui avoir fait traverser des tuyaux

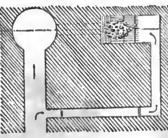


Disposition d'un Foyer d'Appel, dans un puits d'extraction.
(Mines d'Anzin)

longs et étroits garnis de diaphragmes de toile métallique; de cette manière les gaz brûlent en traversant le foyer sans que l'inflammation puisse se propager au delà; la combustion des gaz ajoute même à l'effet du foyer.

La disposition des foyers d'aérage la plus ordinaire en France et en Belgique, consiste à séparer la partie cuvelée d'un puits par une forte cloison qui réserve d'un côté, pour le service, une grande section ou *bure principale*, et de l'autre une petite section ou *goyau* qui sert à la descente des mineurs (voy. fig. 133). Après avoir traversé toute la hauteur du terrain mort et être arrivé au terrain houiller, c'est-à-dire à la base du cuvelage, le goyau s'éloigne du puits et descend de dix mètres en dix mètres par des séries de petits puits ou *beurtias*, isolés les uns des autres par des paliers. C'est par ces beurtias que les mineurs arrivent aux parties inférieures de l'exploitation.

Le foyer d'appel est placé dans une galerie spéciale mise en communication avec les beurtias pour l'entrée de l'air destiné à la combustion, et les gaz brûlés ne sont jetés dans le puits que par une galerie inclinée, de quinze à vingt mètres de longueur. Deux portes solides et fermant bien isolent les beurtias de la voie de retour; elles sont placées de telle sorte que, lors du passage des ouvriers, il y en ait toujours une de fermée. D'après cette disposition, l'air qui alimente le foyer descend toujours de l'extérieur et n'est jeté dans le puits d'aérage qu'après un trajet assez long pour qu'il n'y ait aucun danger d'inflammation pour le grisou qui est entraîné lui-même par ce courant d'appel.


Fig. 134. *Disposition d'un foyer d'aérage.*

Le foyer peut être disposé ainsi que l'indique la fig. 134. Les flèches marquées sur cette figure supposent cependant qu'on prend l'air d'alimentation dans les travaux eux-mêmes, à travers deux portes à diaphragmes qui servent à régler le tirage.

En Angleterre, où l'emploi des foyers d'aérage est général, l'alimentation est disposée d'une manière toute différente de celle que nous avons indiquée pour les mines du nord de la France et de la Belgique. Nous avons dit précédemment que la méthode d'exploitation en usage à Newcastle (fig. 76) était celle par galeries et piliers; mais comme la mine est divisée par compartiments ou quartiers isolés, l'air qui entre dans la mine est aussi partagé en plusieurs courants isolés, au moyen de cloisons établies dans les puits d'entrée, et c'est parmi ces courants qu'on choisit, pour alimenter la combustion, celui qui, dans son parcours, est le moins chargé de grisou. On brûle cet air dans un foyer qui présente pour la sortie des gaz de combustion une disposition analogue à celle des foyers précédemment indiqués (fig. 132 et 134).

En Belgique, on a fait communiquer les puits d'appel avec de hautes cheminées, puis on a déterminé le mouvement d'appel en chauffant l'air qui sort de la mine, soit directement au moyen de grilles, soit au moyen de calorifères. Un de ces calorifères, souvent cité comme modèle, a été établi à la mine de Seraing où il détermine un aérage suffisant en chauffant l'air dans une chambre, par l'intermédiaire de tambours et tuyaux en fonte; sa disposition est pourtant contraire aux principes élémentaires de chauffage d'après lesquels l'air froid sortant du puits devrait d'abord être mis en contact avec les parties du calorifère dont la température est la moins élevée et sortir après s'être suréchauffé au contact des parties les plus chaudes. En d'autres termes, le courant d'air froid à chauffer, au moyen d'un calorifère, doit suivre dans ses contacts une marche inverse de celle de l'air chaud qui a traversé le foyer. Cette condition est assez difficile à remplir à l'orifice d'un puits de mine lorsqu'on veut éviter de faire parcourir à l'air sortant trop de contours, dans des conduits dont la section est toujours étranglée comparativement à celle du puits. Si d'ailleurs on considère que, dans les foyers d'Anzin (fig. 133), la position du foyer est telle que la colonne qui détermine le mouvement d'appel atteint une hauteur maximum sans qu'il en résulte de grands frais d'installation ou d'entretien, on est conduit à préférer l'emploi des foyers inté-

rieurs, disposés comme ceux d'Anzin ou de Newcastle, à celui des foyers extérieurs placés à l'orifice des puits ou à la base d'une cheminée.

Dans les puits d'aérage du nord de la France et de Newcastle, le courant d'air ascendant reçoit, par son mélange avec l'air qui a passé à travers le fourneau d'appel, une température supérieure de quinze à vingt degrés à la température moyenne des travaux Ce suréchauffement suffit pour déterminer un courant dont la vitesse est de 0,60 à 1 mètre par seconde, et cette vitesse est elle-même suffisante pour aérer les travaux souterrains dans les conditions ordinaires de développement et de section. La température se trouve ainsi portée à quarante et au plus à quarante-cinq degrés, dans la partie du puits supérieure au foyer. Les foyers consomment en moyenne de six à huit cents kilog. de houille par vingt-quatre heures. Il faut, pour en alimenter la combustion, 4000 à 6000 mètres cubes d'air atmosphérique par vingt-quatre heures; la chaleur dégagée est de 3 à 5 millions de calories.

Si, dans ces conditions, l'effet des foyers se trouvait insuffisant pour des travaux sinueux et étendus, on serait conduit à augmenter encore la température moyenne de l'air ascendant du puits d'aérage, en augmentant la proportion du combustible brûlé; mais, ainsi que le démontrent les recherches de M. Combes, dans ses Mémoires remarquables sur l'aérage des mines, il deviendrait très-désavantageux, sous le rapport de la consommation du combustible, d'augmenter la puissance du foyer de manière à élever la température du courant ascendant au delà de cette limite pratique d'environ 40 degrés. L'addition d'une cheminée, pour augmenter la hauteur de la colonne ascendante, serait trop coûteuse, comparativement à l'effet produit; il sera donc préférable de chercher dans l'agrandissement des sections ou dans les artifices mécaniques, un moyen d'activer l'aérage.

On a proposé de mettre à profit, pour l'aérage, les foyers des machines à vapeurs établies à l'orifice des puits pour le service de l'extraction ou de l'épuisement. On alimenterait ainsi la combustion de ces foyers avec de l'air emprunté aux travaux souter-

rains. Ce procédé, impossible pour les mines à grisou, est susceptible d'applications fréquentes et peu coûteuses dans les mines où les mélanges détonants ne sont pas à craindre, et dans lesquelles le combustible a assez de valeur pour qu'on cherche à l'économiser. Il ne faut pas d'ailleurs perdre de vue que tous ces procédés d'appel de l'air intérieur, par des appareils placés au jour, nécessitent la fermeture du puits, et, par conséquent, en interdisent l'emploi pour l'extraction.

Emploi de la vapeur.

L'emploi direct de la vapeur a été souvent proposé pour l'aérage des mines et n'a jamais été appliqué que d'une manière incomplète. Ainsi, on a d'abord proposé de chauffer l'air d'un puits au moyen de tuyaux de fonte dans lesquels on ferait circuler de la vapeur; ce procédé est évidemment moins avantageux que celui des foyers d'aérage, et son établissement serait aussi beaucoup plus dispendieux. Dans plusieurs mines, on a utilisé la la vapeur d'échappement de machines à haute pression, en lui donnant issue, soit dans une cheminée d'appel, soit dans le puits d'aérage par un tuyau dirigé de bas en haut. On a déterminé, par cette disposition, un courant ascendant de vapeur qui, bien qu'il soit intermittent, suffit encore pour imprimer à l'air ambiant un mouvement dans le même sens. Ce moyen est incomplet, mais peut avoir sa valeur comme expédient additionnel en ce qu'il ajoute au mouvement général de l'aérage, sans exiger aucune dépense. Un procédé d'aérage sûr, économique et sans danger pour les grisous, est fourni par l'action mécanique du *jet de vapeur*, tel qu'il a été employé dans les usines évaporatoires. M. Pelletan qui a, le premier, expérimenté sur la valeur de cette action mécanique a reconnu qu'en dirigeant un jet de vapeur à haute pression (cinq ou six atmosphères, par exemple) dans un canal d'un diamètre un peu plus grand que celui du jet, on produisait un mouvement d'entraînement tel que, si l'appel avait lieu dans un vase clos, le vide y pouvait être produit der-

rière le jet. Un vide aussi prononcé que celui qu'on obtient dans les chaudières évaporatoires ne serait pas nécessaire pour déterminer l'aérage ; il résulte au contraire des expériences de M. Pelletan que moins on cherche à produire un mouvement énergique et mieux on utilise la vapeur. Ainsi, dans ces expériences, un jet de m. 0,006 de diamètre, lançant de la vapeur à cinq atmosphères dans un canal de m. 0,02 de diamètre et de m. 0,25 de longueur, produisait derrière lui un vide de 16 centimètres de mercure. La dépense constatée dans le générateur était de 58 litres d'eau vaporisée par heure, et l'entraînement qui résultait de ce mouvement d'appel était, dans le même temps, de 200 mètres cubes. Ainsi la circulation aurait pu être d'environ trois mètres cubes d'air par seconde, avec une consommation d'environ 160 k. pour vingt-quatre heures et, pour produire un courant d'un mètre par seconde dans un puits ayant une section de 9 mètres, la dépense pour trois jets de vapeur serait de 480 k. de houille. Ce procédé aurait, comme les calorifères extérieurs, l'inconvénient d'exiger la fermeture complète du puits d'aérage, mais il serait plus économique et aurait surtout l'avantage de ne présenter aucun danger dans les mines les plus infectées par les gaz inflammables.

Moyens mécaniques d'aérage.

Les moyens mécaniques de dilatation de l'air, dans un puits d'aérage, sont fournis par toutes les machines soufflantes qui dans les mines sont plus souvent employées pour aspirer que pour refouler. L'action de ces machines est pratiquement plus sûre, exposée à moins de dérangements et de déperditions lorsqu'elles agissent par aspiration que lorsqu'elles agissent par refoulement.

Les conditions particulières des machines destinées à l'aérage sont ainsi résumées par M. Combes : 1° déplacer des volumes d'air considérables ; 2° n'imprimer à ces masses d'air que de faibles vitesses ; 3° n'augmenter que très-peu la pression de l'air qu'elles puisent dans la mine, si elles sont aspirantes, et

dans l'atmosphère si elles sont soufflantes. Ces machines sont donc dans des conditions tout à fait différentes de celles des machines soufflantes appliquées aux travaux métallurgiques; car ces dernières déplacent des masses d'air peu importantes, mais leur impriment des vitesses et par conséquent des pressions considérables. Il en résulte que, comparées à ces machines soufflantes, les machines appliquées à l'aérage ont des dimensions bien supérieures et des orifices à très-grande section.

La mine de l'Espérance près de Liége est aérée par des cylindres aspirants mis en mouvement au moyen d'un cylindre à vapeur de 25 chevaux. La pression moyenne est de m. 0,076 d'eau distillée; le volume d'air aspiré est théoriquement (par le calcul des cylindres) de mcb. 9,024 par seconde; pratiquement, il est de mcb. 8,016; la section totale des deux puits d'aérage est de 3 mètres carrés, et la vitesse de l'air ascendant est par conséquent m. 2,62 par seconde. Comparant l'effet utile à la consommation du combustible qui correspond à 25 chevaux vapeur, M. Combes trouve que cet effet n'est que le tiers (chev. 8,05) du travail réel. Dans deux machines du même genre établies aux environs de Charleroy, il n'a trouvé que le quart dans un cas et le cinquième dans l'autre.

Cette énorme déperdition d'effet utile démontre bien tous les inconvenients de ces machines. Les frottements de l'air et des immenses pistons employés, les différences de pression nécessaires pour le jeu des clapets, sont des défauts inhérents aux conditions de ce travail, défauts auxquels on n'a pu remédier malgré tous les artifices mécaniques mis en œuvre. Frappé de ces inconvénients, M. Combes a fortement insisté pour l'adoption du ventilateur à force centrifuge. Ce ventilateur est en effet la machine par excellence pour le cas particulier de l'aérage. Les frottements y sont faibles, il n'y a point de jeu de soupapes, et les conduits de l'air peuvent y être très-grands; enfin c'est une machine peu coûteuse à établir. Le ventilateur à force centrifuge est d'ailleurs d'un emploi très-fréquent dans l'intérieur des mines pour porter de l'air vers un point déterminé où le travail est gêné par des mofettes.

On emploie souvent en Allemagne, pour l'aérage des mines, un ventilateur, dit ventilateur du Hartz (fig. 135), très-remarquable par la simplicité de sa disposition : deux tonneaux sont construits de manière à entrer l'un dans l'autre ; le plus grand est rempli d'eau et sa partie supérieure communique par un tuyau à soupape avec les travaux ; le second tonneau, placé l'ouverture en bas, porte un clapet à sa partie supérieure. L'eau forme le joint de telle sorte que, si l'on imprime au tonneau supérieur un mouvement alternatif, soit à bras, soit en l'attachant à quelque organe mécanique déjà mis en mouvement pour le service de la mine, on détermine évidemment l'aspiration de l'air intérieur, quand le tonneau mobile est enlevé, et son expiration à l'extérieur quand il est abaissé.

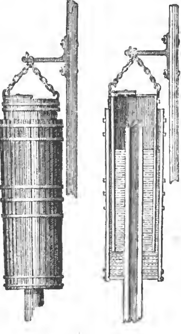


Fig. 135. *Ventilateur du Hartz.*

Il arrive quelquefois qu'on peut disposer de chutes d'eau, soit à l'intérieur, soit à l'extérieur des mines. Ces chutes peuvent être utilisées au moyen de l'établissement de machines hydrauliques quelconques mettant en mouvement des appareils d'aérage ; cela est facile, surtout lorsque le service d'extraction ou d'épuisement a déjà nécessité la construction de machines hydrauliques. Lorsque l'eau n'a pas d'autre emploi, lorsqu'il y en a en abondance et qu'elle doit être directement appliquée à l'aérage, on s'en sert pour établir la ventilation des travaux souterrains, au moyen de *trompes*, si la chute a beaucoup de hauteur, et au moyen de caisses, dites *machines de Schemnitz*, si elle en a peu.

La construction des trompes pour l'aérage des mines ne diffère pas de celle des trompes pour les usages métallurgiques, mais il faut pouvoir disposer d'au moins 5 mètres de chute. L'eau tombe dans un ou plusieurs tubes ou arbres verticaux, et se brise sur un tablier, dans une caisse qui porte le conduit d'air à sa partie supérieure; l'air entre, à la naissance de la chute, par des trous percés dans la partie supérieure de l'arbre, au-dessous d'un resserrement dit étranguillon. Ces appareils ont d'ailleurs un effet utile très-faible (0,15 de la force réelle); on en jugera par l'exemple suivant pris dans une mine des Pyrénées. Une trompe à un arbre, de m. 0,21 de diamètre intérieur, appliquée à une chute de 8 mètres, reçoit mcb. 2,70 d'eau par minute. L'air entre après un étranguillon, qui réduit le diamètre de l'arbre à m. 0,13, par quatre trous ayant ensemble 90 centimètres carrés de section; l'air porté au fond d'une galerie de 427 mètres de longueur, par un tuyau en fer blanc de 0,10 de diamètre, est de mcb. 3,66 par minute.

La machine de Schemnitz consiste en une caisse en tôle ou en bois, recevant l'eau par un tuyau qui descend intérieurement jusqu'au fond; l'arrivée de l'eau refoule l'air, qui remplissait la caisse, par un autre tuyau qui le conduit au point le plus convenable de la mine. Lorsqu'on ouvre ensuite le robinet de vidange, la caisse se remplit de nouveau d'air pur au moyen d'un troisième conduit, et cette nouvelle quantité est, de même, refoulée dans les travaux, et ainsi de suite. On substitue donc un volume d'air égal au volume d'eau employé, et plusieurs caisses mises successivement en action produisent ainsi un courant continu. On arrive, de cette manière, à utiliser les plus faibles chutes, et notamment l'eau qui sort des galeries d'écoulement. Ces machines de Schemnitz servent à conduire de l'air sur un point donné des travaux plutôt qu'à déterminer un système général d'aérage.

Les ventilateurs et tous les appareils qui peuvent refouler l'air sont employés assez souvent pour envoyer de l'air sur des points envahis par les gaz méphytiques. On est même quelquefois obligé d'y avoir recours dans des travaux simples, comme pour

foncer un puits, percer une galerie. Dans ce cas, l'appareil ventilateur est adapté à des conduits d'air, composés de quatre planches formant un tube prismatique quadrangulaire les joints de ces planches sont garnis avec de la mousse et les abouts disposés de telle sorte que les joints transversaux ne se correspondent pas sur les quatre faces. Ces conduits d'air, appelés *canards*, se posent habituellement dans des angles et au sol des galeries; on doit toujours en avoir une certaine quantité pour les monter en cas d'accident. Lorsqu'on les pose pour un service qui doit durer longtemps, il faut avoir soin de les placer à l'abri des chocs, et souvent même on creuse, dans une des parois de la galerie, une rigole pour les recevoir.

Distribution de l'air dans les travaux.

Lorsqu'il s'agit de créer un système général d'aérage, il est essentiel de déterminer d'abord la quantité d'air pur qu'on doit introduire dans les travaux pendant un temps donné, puis il faut faire circuler l'air introduit de manière à entretenir dans les chantiers d'abattage l'air le plus pur possible.

La quantité d'air introduite dans les mines est très-variable, car elle dépend à la fois du développement des travaux souterrains et des conditions particulières de l'air intérieur. Les mines de houille, étant celles qui exigent l'aérage le plus actif, fournissent, sous ce double rapport, les meilleurs éléments, car il peut rarement y avoir excès d'air; tandis que la plupart des mines profondes, celles même qui ne donnent lieu à aucun dégagement spontané de gaz délétères, laissent beaucoup à désirer sous le rapport de l'aérage.

La vitesse de l'air dans les travaux doit être assez grande pour amener la diffusion des gaz délétères et empêcher leur liquation et leur stationnement dans les anfractuosités des excavations. Une vitesse de m. 0,60 par seconde est convenable et détermine à la fois la diffusion du grisou et de l'acide carbonique; 1 m. 20 par seconde, est un maximum qu'on ne doit pas dépasser dans les tailles : car une vitesse supérieure pourrait occa-

sionner la projection de la flamme à travers les toiles métalliques des lampes, sans compter qu'il en résulterait un vent gênant pour les ouvriers.

Si l'on vient actuellement à constater les quantités d'air pur envoyées dans les mines, on trouve que les mines de houille les moins bien ventilées reçoivent, dans les bassins du nord de la France et de la Belgique, 1 m.c.b. 700 par seconde; les mines ventilées par un foyer d'aérage reçoivent 3 à 5 mètres cubes par seconde; enfin les mines dont le développement souterrain est considérable, et dans lesquelles il se dégage du grisou, comme la mine de l'Espérance citée précédemment, reçoivent dans le même temps 7 à 9 mètres cubes.

Dans une mine où il n'y a aucun dégagement de gaz délétères à craindre, on peut compter le nombre des ouvriers et des lumières, doubler ou tripler la quantité d'air ainsi altéré, faire la part des causes d'altération qui ne peuvent être calculées, et déterminer ainsi *à priori* la quantité d'air à introduire par un aérage artificiel. Ce sera toujours un très-faible travail. Le plus souvent même, et notamment dans les mines métalliques, on attend que les ouvriers soient incommodés par l'altération de l'air atmosphérique pour aviser aux moyens de le purifier. Mais dans les mines de houille, dans toutes celles qui sont sujettes au grisou ou aux mofettes, il y aurait imprudence à ne pas combiner à l'avance un système d'aérage et à ne pas en préparer les moyens d'après les chiffres précédemment indiqués.

La double condition de quantité et de vitesse conduit d'ailleurs à des relations nécessaires avec la section des travaux. Ainsi 3 m. 70 sur 3 m. 70 serait la section d'une galerie recevant 8 mètres cubes à la vitesse de m. 0,60 par seconde. Les galeries n'ayant ordinairement que 4 m. de section, le volume d'air nécessaire serait seulement de 2 m.c.b. 400 à la vitesse de m. 0,60, et 4 m.c.b. 800 à la vitesse maximum de 1 m. 20. C'est qu'en effet, dans les mines fortement ventilées, le courant principal se divise toujours en plusieurs artères qui vont assainir les diverses parties de la mine. Il y en aura, par exemple, trois recevant

3 mètres cubes par seconde, et tous ces courants pourront d'ailleurs entrer par un même puits, qui pour cela sera divisé en trois et quatre sections, et ne se réunir ensuite qu'à leur sortie dans le puits d'appel.

La quantité d'air à introduire dans une mine ne peut guère être déterminée que par tâtonnement, et c'est en étudiant la composition de l'air à sa sortie de la mine, et en constatant les vitesses dans les travaux qu'on pourra reconnaître si l'aérage est suffisant. Or il peut arriver, dans les mines sujettes aux gaz délétères, que l'air soit déjà très-impur et très-nuisible dans les dernières parties de son parcours sans qu'il y ait possibilité d'augmenter la vitesse. Dans ce cas, l'air entrant doit être divisé, comme il est dit plus haut, en plusieurs branches, et circuler dans des groupes isolés qui se trouvent ainsi aérés indépendamment les uns des autres. Cette division est surtout avantageuse pour les mines à grisou. Ainsi les grandes exploitations houillères d'Angleterre et de Belgique sont généralement divisées en trois ou quatre quartiers dont l'aérage est entièrement indépendant. Ces distributions de l'air nécessitent des murs d'isolement, des portes d'aérage qui ne s'ouvrent que pour le service et qui retombent d'elles-mêmes ou sont servies par des enfants. Le plan d'exploitation par galeries et piliers (fig. 76) usité en Angleterre indique la disposition des cloisons et des portes nécessaires pour l'aérage par compartiments. Sur les plans des autres méthodes d'exploitation, par gradins, par grandes tailles (fig. 74), par massifs longs (fig. 75), la direction du courant d'air est également indiquée par les flèches.

L'air appelé dans une mine doit d'abord être dirigé vers les chantiers principaux, puis sortir par les voies les moins fréquentées. Si le chemin qui remplit ces conditions est le plus court, il n'est besoin d'aucun artifice pour obliger l'air à le suivre, il prend naturellement les voies les plus directes et les plus faciles. Si, comme cela est le plus ordinaire, ce chemin n'est pas le plus direct, on oblige l'air à le suivre en lui barrant toute autre issue.

Les portes d'aérage sont faites en bois et avec une solidité

d'autant plus grande que leur fonction est plus importante. Si cette fonction est indispensable, on établit deux portes à une certaine distance l'une de l'autre, afin que, dans le passage nécessité par le service, il y en ait toujours une des deux qui soit close. S'il est à craindre que ces portes soient renversées par une explosion, on fixe au faîte de la galerie une porte à charnière dite *porte flottante* qui reste toujours relevée, mais est disposée de manière à tomber et à fermer la galerie lorsqu'elle est atteinte par une commotion assez forte pour défoncer les deux autres. Lorsqu'on a besoin de partager un courant d'air à plusieurs travaux, on établit à l'entrée de chacun d'eux une porte avec des diaphragmes dont on détermine l'ouverture d'après la proportion de la répartition de l'air.

Les cloisons d'aérage, qui n'ont d'autre but que de diriger la circulation, peuvent être construites en bois, briques ou remblais, et sans beaucoup de soin; mais celles qui sont destinées à s'isoler de vieux travaux remplis de grisou ou des sources spéciales de ce gaz, doivent, comme celles destinées à parquer des feux souterrains, être exécutées en *corrois*, c'est-à-dire garnies d'argile et engagées dans les parois entaillées de manière à être complétement imperméables. On exécutera avec le même soin les constructions qui doivent déterminer la circulation, tels que les croisement de deux directions, indiqué fig. 136.

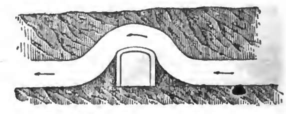


Fig. 136. *Croisement de deux courants d'air.*

Dans les mines sujettes au grisou, les courants d'air doivent avoir autant que possible une direction constamment ascensionnelle, condition indispensable pour empêcher les accumulations

dans les parties supérieures. Les ouvriers auront en outre le soin de boucher et de balayer les anfractuosités dans lesquelles le gaz pourrait se liquater. Enfin il faut éviter de faire revenir le courant sur lui-même, de peur qu'après une explosion il n'y ait suppression d'aérage par le renversement des cloisons d'isolement.

Malgré toutes ces précautions, lorsqu'une explosion est déterminée, il arrive presque toujours que l'aérage est renversé et qu'il y a stagnation, soit par suite du défoncement des portes et des cloisons, soit par l'extinction des foyers, ou le dérangement des appareils mécaniques. Dans ce cas, la mine est envahie par les gaz délétères qui y stationnent, et il est difficile, quelquefois même très-long de rentrer dans les travaux pour porter secours aux mineurs et rétablir les conditions de la circulation.

Il est donc essentiel qu'une mine sujette au grisou soit pourvue des moyens de rétablissement immédiat de l'aérage renversé, ou tout au moins d'appareils pour le sauvetage des ouvriers asphyxiés. Dans le premier cas on peut disposer à l'avance un ou plusieurs foyers de secours et rétablir le courant, immédiatement après l'explosion, à l'aide de matières facilement inflammables; on peut encore avoir, comme en Angleterre, des réservoirs d'eau placés près de l'orifice des puits d'entrée de l'air, et faire tomber dans ces puits un courant d'eau divisé qui entraîne l'air et rétablisse la ventilation. Des mineurs descendent dans les travaux munis d'ammoniaque et d'eau de chaux, et ils ont soin, en y pénétrant, de suivre la marche du courant d'air ventilateur.

On a encore disposé des appareils respiratoires pour pénétrer directement dans les gaz méphytiques. Les uns consistent en une provision d'air contenue dans un réservoir à paroi flexible; l'ouvrier aspire cet air par un tube et l'expire par un autre; deux soupapes empêchent le jeu inverse de se produire. D'autres fois l'air est comprimé dans une caisse en fer-blanc, et la respiration est entretenue par un jeu de soupapes. Ces appareils, trop compliqués, ne sont pas encore devenus pratiques.

Enfin, si, à la suite d'une inflammation de grisou, le feu vient à se déclarer, soit dans les boisages, soit dans la houille, on doit

boucher immédiatement tous les orifices de la mine, et l'incendie est bientôt éteint par l'acide carbonique qu'il a produit; mais il faut se garder de vouloir rentrer trop promptement dans les travaux; car si on donnait trop tôt accès à l'air extérieur, et que certaines parties de la houille ou des boisages vinssent à se rallumer, l'atmosphère, étant infailliblement redevenue explosive, se rallumerait aussi et provoquerait de nouveaux accidents.

CHAPITRE ONZIÈME.

ROULAGE ET EXTRACTION.

Après l'abattage, c'est le roulage et l'extraction qui ajoutent le plus au prix de revient des matières exploitées. Ces éléments sont surtout de la plus grande importance lorsqu'il s'agit de minéraux de peu de valeur intrinsèque, tels que la houille, le sel gemme, les minerais de fer et les minerais pauvres dont le triage ne peut avoir lieu dans la mine. En général, on trouvera dans les mines des voies de transport d'autant plus imparfaites que les minerais auront un titre plus élevé et une plus grande valeur. Ainsi, tandis que les chemins de fer ont pris naissance dans les mines de houille, les voies de transport étaient tellement incomplètes dans la plupart des mines d'argent du Pérou que, pour extraire le minerai abattu, il fallait que les mineurs attachassent sur leurs épaules et à leurs jambes de petits sacs contenant ce minerai, et qu'ils s'engageassent ainsi dans les voies les plus étroites et les plus sinueuses.

Les transports intérieurs se font par l'homme ou le cheval, agissant comme moteurs; ces moteurs peuvent être employés sur le sol des galeries ou sur des voies perfectionnées consistant en chemins à ornières de bois ou de fer. Quant à l'extraction par les puits, elle a lieu, suivant l'importance du travail, par l'homme appliqué à un treuil ou tour, par des chevaux appliqués à des manéges ou machines à molettes, enfin par des machines hydrauliques ou à vapeur. Les combinaisons de ces différents moyens de roulage ou d'extraction sont assez nombreuses pour que les mines soient à cet égard dans des conditions très-diverses. Nous poserons d'abord les principes qui peuvent conduire aux meilleures conditions de roulage, en nous appuyant en grande partie sur

les renseignements recueillis par M. Gervoy dans les mines du département de la Loire.

Dans la plupart des mines, l'homme est le seul moteur employé : suivant les voies qu'il doit parcourir, il agit, comme *porteur*, chargé de sacs ou de hottes; comme *brouetteur*, en roulant devant lui à l'aide de brouettes; comme *traîneur*, en poussant ou tirant des traîneaux à patins; enfin, comme *rouleur* ou *herscheur*, en poussant ou tirant des chariots soit sur le sol même de la galerie, soit sur des voies perfectionnées.

Le *porteur* n'est employé que dans les voies étroites dont l'inclinaison ou les sinuosités rendent le parcours difficile. Chargé d'un sac qu'il maintient d'une main sur ses épaules, il porte de l'autre un bâton qui le soutient et une lampe qui l'éclaire. Ce transport lent, pénible, est d'un usage très-répandu dans les mines de l'Amérique méridionale, où les voies de roulage sont souvent étroites et sinueuses; dans les mines de l'Europe il est plus rare, et n'a été conservé que pour de faibles trajets conduisant des tailles aux voies de traînage et de roulage. Les voies consacrées à la circulation des porteurs doivent avoir au moins 1 m. 20 de hauteur sur m. 0,65 de largeur.

Suivant les pentes des galeries et leur section, la charge d'un porteur variera de 40 à 60 kilog. La pente maximum devra être de 45°, encore est-il indispensable, pour qu'il puisse y circuler, que le sol soit taillé en escalier; cette précaution est même avantageuse à partir de 15°. Pour des pentes qui excèdent 20°, le transport à la descente est aussi pénible qu'à la montée; les pentes de descente ne sont avantageuses que jusqu'à 12°. Enfin, il faut éviter, autant que possible, de faire dépasser aux relais 60 à 80 mètres de longueur.

Dans les meilleures conditions, lorsque les ouvertures sont à grande section et les pentes faibles, un bon porteur, chargeant 60 à 75 kilog. dans un sac ou dans une hotte légère, produira dans sa journée un effet utile de 300 kilog. transportés à 1 kilom. de distance. Sur des inclinaisons de 20°, cet effet utile se réduira à 190 kilog. à 1 kilom.

On jugera mieux ces diverses circonstances par le tableau suivant qui résume les conditions du portage dans les mines de la Loire. Lorsque les galeries sont très-basses, on emploie quelquefois des enfants; ainsi, dans les mines de lignite, des environs de Marseille, où le portage se fait suivant des galeries inclinées et en montant des gradins, l'effet utile moyen des enfants de 10 à 14 ans est de 48 kilog. transportés à 1 kilomètre.

Tableau de l'effet utile des porteurs dans les mines de la Loire.

NOMS des MINES.	DISTANCES.	INCLINAISONS.	CHARGES en houille.	VOYAGES.	TRANSPORT. (kil. transport. à 1 kilom.)	OBSERVATIONS. HAUTEUR des galeries.	OBSERVATIONS. ÉTAT des chemins.
	m.	degrés.	kil.			mètres.	
Monrambert.	150	45 sur 100m 0 sur 50m	40	32	192	1,60	Bon.
Quantin.	64	40 sur 48m 0 sur 16m	50	62	198	1,30	Assez bon.
Charles	66	5	50	6	198	2	Mauvais.
Palle.	130	8	50	3	208	1,60	*Id.*
Salomon.	80	26 sur 50m 0 sur 30m	55	50	220	1,60	Assez bon.
Palle	80	0	50	60	240	1,30	Mauvais.
Brulé	120	—13	53	40	254	2	Assez bon.
Breuil.	54	9	60 à 75	80	289	à ciel ouv.	Très-mauvais.
Roche-la-Molière. .	45	20 sur 24m 0 sur 21m	50	135	304	1,30	Très-bon.

Le *brouetteur* est en quelque sorte le second degré de transport; c'est un mode que l'on emploie dans presque toutes les exploitations avant d'en adopter un plus perfectionné. Avec la petite brouette, roulant sur le sol des galeries et chargeant 60 kilogr., l'effet utile d'un brouetteur atteint facilement 500 kilog. transportés à 1 kilom. pour un travail de 8 à 10 heures.

Dans une mine de Rive-de-Gier, vingt brouetteurs, faisant le service des transports, prenaient une charge de 100 kilog. et faisaient 36 voyages ayant 200 mètres de distance moyenne.

L'effet utile de chacun d'eux était ainsi de 720 kilog. transportés à 1 kilom. Ce chiffre est en quelque sorte le plus élevé qu'on ait atteint par le brouettage sur le sol des galeries. Lorsque le sol est moins favorable, comme dans certaines mines de Sarrebruck, l'effet utile du brouettage tombe à 360 kilog.

Lorsque le sol est mauvais, on le garnit avec des plateaux qui facilitent le transport. Dans certaines mines on établit même une voie régulière avec des longrines et des plateaux, et l'on a pu ainsi porter l'effet utile d'un brouetteur à 1000 ou 1,100 kilog. transportés à 1 kilom. de distance.

Ce mode de transport n'est d'ailleurs praticable qu'avec de très-faibles inclinaisons; au delà de 4 à 5° l'ouvrier ne pourrait plus circuler qu'avec désavantage; la brouette pèserait trop sur lui dans les montées et l'entraînerait dans les descentes. Ces difficultés ont borné l'usage de la brouette aux mines métalliques, où les transports sont peu considérables et les travaux réguliers. Dans les mines qui donnent lieu à de grands transports, l'usage en a été assez généralement abandonné.

Le *traînage* s'exécute au moyen de bennes posées sur des patins auxquels les traîneurs y sont attelés par des bricolles. Le poids ordinaire de ce véhicule est de 33 kilogrammes; l'on y charge 60 à 80 kilog. dans les galeries basses qui ont moins d'un mètre de hauteur, et 120 à 160 kilog. dans les galeries élevées.

Ce mode de transport convient mieux que le brouettage dans les galeries inclinées; il comporte une inclinaison de 16°; mais, pour remonter les pentes, on commence à 12° à faire aider le traîneur par un enfant pousseur. Les distances ou relais sont, en moyenne, de 100 mètres.

L'effet utile d'un traîneur est très-variable; il sera de 250 kilog. transportés à 1 kilom. pour les galeries basses dont le sol est mauvais; il sera de 500 kilog. à 1 kilom. dans les galeries élevées. Il atteint jusqu'à 800 et 1000 kilog. dans les meilleures conditions de la voie, et lorsque les traîneurs travaillent à forfait. Le tableau suivant résume les principaux résultats du traînage dans les mines de la Loire.

Tableau de l'effet utile des traîneurs dans les mines de la Loire.

NOMS des MINES.	DISTANCES.	INCLINAISONS	CHARGES en houille.	VOYAGES.	TRANSPORT. (kil. transport. à 1 kilom.)	OBSERVATIONS.
	m.	degrés.	kil.			
Les Prêcheurs . . .	60	0	60	56	201	Galeries de 0m,80.
Couzon	62	0	80	50	248	Galeries d'un mètre.
La Chana.	102	16 sur 85m 0 sur 17m	110	35	393	Galeries de 1,60. — Mauvais chemins.
La Roche.	210	12 sur 47m 0 sur 163m	90	28	529	Galeries de plus de 1,60 — Chemins à divers états d'entretien.
Le Brulé.	140	—14	120	32	538	
La Chaux.	150	6	130	35	663	
Soleil	197	0	119	30	703	
Gagne-Petit	150	— 6	110	44	726	
Genets	120	0	115	55	759	
Côte-Thiolière . . .	178	0	123	37	810	
Treuil.	100	0	120	85	1020	Galeries de 1,50. — Chemins excellents. — Transp. à l'entrepr.

Le traînage se fait aussi au moyen de chevaux attelés soit à une benne double, soit à deux bennes ; on les emploie de préférence à l'homme dans les grandes voies de roulage lorsque les distances à parcourir dépassent 100 mètres. Ces deux méthodes sont ordinairement combinées de telle sorte que les traîneurs amènent les bennes par les petites galeries, sur les grandes voies où elles sont prises deux à deux par les chevaux dont la charge est ainsi de 66 kilog. en poids mort et de 200 à 400 kilog. en matières exploitées. Le chiffre de l'effet utile du cheval varie de 800 à 1,100 kilog. à 1 kilom. pour les voies dont le sol est en mauvais état, et de 1,500 à 2,500 pour les voies en bon état de service. Le tableau suivant indique l'influence de l'état de la voie et de son horizontalité sur l'effet utile de ce moyen de transport.

Tableau de l'effet utile des chevaux appliqués au traînage dans les mines de la Loire.

NOMS des MINES.	DISTANCES.	INCLINAISONS.	CHARGES en houille.	VOYAGES.	TRANSPORT. (kil. transport. à 1 kilom.)	OBSERVATIONS.
	m.	degrés.	kil.			
Martoret	100	0	200	36	720	Mines du bassin de Rive-de-Gier, à sol mobile, dont les chemins sont en général assez mauvais et mal aérés.
Id.	200	0	200	22	880	
Id.	300	0	200	19	1140	
Grand'Croix. . . .	150	—3	200	31	930	
Id.	200	—5	200	28	1120	
Salomon	160	0	220	50	1760	Mines de Saint-Étienne, mieux aérées et à chemins meilleurs que les précédents.
Côte-Thiolière . . .	215	2	240	36	1858	
Brulé	150	—3	450	28	1890	
Gagne-Petit.	150	—6	440	32	2112	
Id.	350	—6	440	18	2772	

Lorsque la pente d'une galerie dépasse 6 à 8⁰ et va jusqu'à 15⁰, le cheval doit toujours être utilisé en descendant. On lui fait remonter la charge au moyen d'une poulie de renvoi, et de cette manière on en tire un effet utile bien supérieur à celui qu'il rendrait en remontant directement les bennes. Sur des pentes supérieures, il faut faire glisser les bennes pleines et remonter les vides au moyen d'un treuil, ou mieux encore avoir recours à des plans automoteurs.

Lors donc qu'on devra organiser un service de transports sur le sol des galeries d'une mine, on déterminera les moyens à employer d'après les sections des galeries et leurs conditions de pente et de longueur. Ces moyens adoptés, on appréciera, d'après l'état des voies de service, l'effet utile qu'on peut attendre des hommes ou des chevaux, et l'on pourra prescrire à l'avance la tâche à exiger de chacun. Pour les passages à forte pente, 12 ou 15⁰ par exemple, on calculera les longueurs pour le triple de ce qu'elles ont réellement, et on ajoutera en outre un pousseur de renfort.

Le service des transports se fait ordinairement par les ouvriers les plus jeunes; on y emploie même les enfants à partir de dix ans. Les chevaux doivent être choisis petits et bien portants; leur écurie sera placée près des puits et plancheyée de manière à être préservée de l'humidité. Les galeries où ils circuleront devront avoir 1 m. 70 de hauteur et 1 m. 60 de largeur, afin qu'ils puissent se retourner.

Dans les conditions ordinaires, les transports imposés par tâche à exécuter dans un poste (journée de 8 heures), ou exécutés à l'entreprise par des sociétés de mineurs, dont le prix moyen est de 2 fr. par poste, reviennent aux prix suivants :

		fr.
Transports sur le sol des galeries.	Porteurs.	0,080
	Brouetteurs et traineurs.	0,030
Prix pour 100 kilog. à 100 mètres de distance.	Chevaux.	0,017

Lorsqu'on a établi un service de transport, il ne faut pas s'arrêter pour le calcul des dépenses et de l'effet utile obtenu, aux chiffres qui résultent des premiers temps de ce service. On doit attendre que les ouvriers aient contracté l'habitude de ce travail, habitude qui peut augmenter les résultats du simple au double. Ainsi, dans les mines du Mexique, lorsqu'on substitua les transports par traînage et roulage, à l'emploi des porteurs, on éprouva les plus grandes oppositions de la part des ouvriers. L'habitude du portage avait en effet développé leur force pour ce genre de travail, de manière à le leur faire supporter pendant long-temps, tandis que le traînage les fatiguait très-promptement.

Roulage sur voies perfectionnées.

Les transports sur le sol des galeries nécessitent un entretien de la voie d'autant plus coûteux que le sol est plus humide et moins résistant. Lorsqu'on a des transports actifs et des trajets au delà de 100 mètres, comme dans les mines de houille, cet entretien conduit presque toujours à adopter les voies perfectionnées. Dans les mines métallifères, la nature de la roche souvent très-dure et dont la surface inégale après le percement ne

peut se prêter au traînage, oblige à construire immédiatement des voies perfectionnées soit en bois, soit en bois et fer.

Les voies en bois sont composées de madriers sur lesquels sont clouées deux lignes de longrines de manière à produire un rebord de chaque côté de la voie; les roues des chariots sont maintenues sur la surface des madriers par ces rebords latéraux. Les voies en bois et fer se composent soit d'une bande de fer clouée sur les longrines, soit de barres maintenues sur champ, comme de véritables rails, au moyen de traverses placées de distance en distance. Dans cette dernière disposition, on évite l'emploi des chairs ou coussinets, en faisant des entailles dans les traverses et y calant le rail par des coins en bois.

Les chariots destinés à rouler sur ces voies perfectionnées font partie essentielle des divers systèmes.

Dans les mines métallifères d'Allemagne où les chemins de bois sont d'un usage très-répandu, les chariots sont faits sur un modèle particulier qu'on appelle *chien de mine*.

La voie est composée de deux madriers, laissant un petit intervalle entre eux; on y dispose également des rebords latéraux en clouant sur le bord extérieur des madriers, deux lignes de longrines, de telle sorte que les roues du chariot ou *chien* soient maintenues en roulant sur les madriers.

Le chien de mine (figure 137) se compose d'une caisse posée

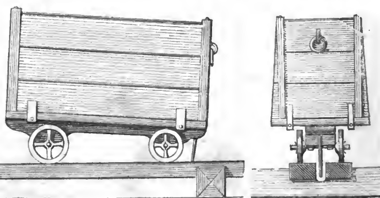


Fig. 137. *Élévations d'un chien de mine.*

sur un train à quatre roues; la caisse est fixe et s'ouvre sur le devant, la face correspondante étant mobile au moyen de charnières placées à la partie supérieure. Le train consiste en une flèche formée d'un large madrier sur lequel repose la caisse, de deux essieux carrés, fixés en travers de cette flèche, et de quatre roues à jante plate tournant sur les fusées de ces essieux (figure 138). Les roues de devant sont plus petites que les roues de derrière, de sorte que tout le système incline vers l'avant; enfin, la direction du train est souvent maintenue par une barre de fer placée verticalement devant la flèche et engagée dans le vide que laissent entre eux les deux madriers qui forment la voie. Cette pièce, appelée le *clou*, est quelquefois armée d'une petite roulette horizontale qui en diminue les frottements latéraux. Lors donc qu'on fait rouler un chien sur sa voie, le clou maintient le chariot dans sa position normale au moment où il franchit les courbes subites auxquelles donnent lieu les croisements de galeries, courbes qui n'ont pas plus de 2 à 3 mètres de rayon. On peut supprimer les rebords latéraux sur la plus grande partie de la voie, le chien étant uniquement dirigé par le clou.

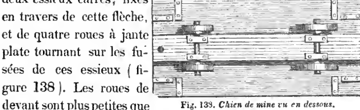


Fig. 138. *Chien de mine vu en dessous.*

La charge des chiens de mine varie de 150 à 250 kilog.; avec cette dernière charge, un rouleur aidé d'un enfant produit dans son poste un effet utile de 1,400 à 1,500 kilog. transportés à un kilomètre. Les relais sont de 80 à 100 mètres; dans les croisements de voie, le rouleur soulève l'avant de manière à faire pivoter le train sur les roues de l'arrière. On a construit dans quelques mines des chiens contenant jusqu'à 500 kilog. de minerai; et, dans de bonnes conditions de voie, deux rouleurs ont pu atteindre jusqu'à 3,000 et 3,500 kilog. d'effet utile.

Le type du chemin de fer de mine se compose ainsi que l'indique la figure 139, de barres de fer méplat posées de champ et maintenues par des coins dans des traverses entaillées; les di-

mensions les plus ordinairement adoptées sont : pour le rail m. 0,014 d'épaisseur, sur une hauteur de 0,070; pour les traverses, m. 0, 11 d'équarrissage, en les espaçant de m. 0,65; les entailles pour recevoir les rails ont m. 0,035 de profondeur, l'écartement de la voie est de m. 0,75 à m. 0,80 [1].

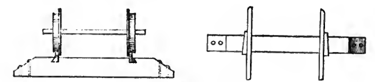


Fig. 139. *Chemin de fer de mine.*

Dans ces conditions de construction, le devis du chemin peut être ainsi établi :

	Par mètre de voie.
Fer pesant 16 kilog.	5,60
Traverses en chêne à un fr. l'une, pour 0,65 d'écartement.	1,50
Pose, déblais et remblais.	0,60
Prix du mètre de voie.	7,70

Dans les courbes on double les traverses pour éviter la flexion du rail extérieur, et de plus on élève ce rail de 2 ou 3 centimètres au-dessus du rail intérieur. Sur des chemins ainsi établis, les chariots descendront seuls à la pente de m. 0,006 par mètre ; dans les mines boueuses il faut m. 0,01 de pente. Dans les croi-

[1] Le tableau suivant indique les diverses conditions d'établissement des chemins de fer de mine et les charges qu'on leur fait supporter.

NOMS des MINES.	DISTANCE des TRAVERSES.	DIMENSIONS DES BARRES verticales.	DIMENSIONS DES BARRES horizontales.	POIDS DU FER par mètres.	POIDS DES CHARS chargés.	LARGEUR de LA VOIE.
	m.	m.	m.	kil.	kil.	m.
Janda.	0,66	0,059	0,013	11,32	1150	0,72
Frontignat	1,00	0,054	0,018	13,36	740	0,80
Roche-la-Molière.	1,00	0,068	0,011	10,82	780	0,80
Gagne-Petit. . . .	0,65	0,045	0,013	8,54	660	0,65
Charles.	1,00	0,054	0,007	5,58	500	0,80

sements de voie on ne met pas ordinairement d'aiguilles, et les rouleurs soulèvent l'avant du chariot pour engager les roues de devant dans la voie qu'ils veulent suivre.

Le grand avantage des chemins de fer ainsi construits est, d'abord, d'être en harmonie avec les dimensions de toutes les galeries et de convenir également aux diverses parties d'une mine, et, en second lieu, de pouvoir se démonter et se remonter rapidement de manière à faciliter le déplacement des voies à mesure que les chantiers d'abattage avancent et se déplacent. Aussi a-t-on généralement préféré ce mode de construction à celui des longrines garnies de bandes de fer clouées, quoique ce dernier mode de construction soit sensiblement plus économique. En effet, le fer employé par mètre de voie, ayant 0,029 de largeur sur 0,009 d'épaisseur, ne pèse que 3 kilog. 90 : la consommation du bois est, il est vrai, plus forte; mais somme totale, un chemin dans les mêmes conditions que le précédent ne reviendrait pas à plus de 5 fr. 50 par mètre de voie.

Dans certaines mines, le sol destiné à recevoir la voie de roulage est sujet à pousser et à se soulever de manière à changer constamment le niveau des rails; cet inconvénient s'est surtout présenté dans les mines de Rive-de-Gier, et la dépense est alors augmentée de tous les frais qu'il faut faire pour maintenir le sol. On a surmonté cet obstacle à Rive-de-Gier, en renversant la disposition du boisage et opposant ainsi à la poussée du sol une véritable voûte renversée sur laquelle on pose ensuite les traverses de la voie, fig. 140.


Fig. 140. *Galerie de roulage dans un terrain dont le sol pousse. (Rive-de-Gier.)*

La principale difficulté de l'application des chemins de fer dans les mines résulte de l'existence des courbes de 2 à 3 mètres de rayon qu'on ne peut éviter dans les croisements de galeries.

C'est par la construction des chariots qu'on s'est efforcé de la surmonter.

Les chariots employés sont quelquefois des chars à caisse, mais plus souvent des plates-formes sur lesquelles on pose les bennes qui doivent être montées à l'extérieur. Ce dernier mode a l'avantage d'éviter les transbordements qui, outre les frais qu'ils occasionnent, donnent souvent lieu, pour la houille par exemple, à un notable déchet. Les bennes ainsi conduites depuis les tailles ou on les charge jusqu'à l'orifice des puits, reçoivent une marque adoptée sur chaque chantier, et ceux qui les reçoivent au jour voient immédiatement de quelle taille elles proviennent et à quelle compagnie de mineurs elles doivent être comptées. Peu importe d'ailleurs le mode de construction adopté pour les caisses; les dispositions qui ont pour but la circulation dans les courbes ne devant porter que sur la construction du train.

Ce train est composé de quatre roues en fonte avec rebord intérieur, leur diamètre moyen est de m. 0,25 et la saillie du rebord de m. 0,020. Lorsque ces roues sont calées sur des essieux qui tournent dans des boîtes, comme dans les grands chemins de fer, il faut, pour franchir aisément des courbes de 2 à 3 mètres de rayon, que l'écartement des essieux mesuré d'axe en axe ne passe pas m. 0,40; l'écartement peut être porté à m. 0,70 si les roues sont mobiles sur les essieux fixes, ou bien si elles sont calées sur quatre essieux, chaque roue ayant un essieu particulier, de telle sorte que dans l'un et l'autre cas les roues puissent prendre des vitesses différentes, fig. 141. Le jeu entre le rail et le rebord doit être de m. 0,005 à m. 0,010.

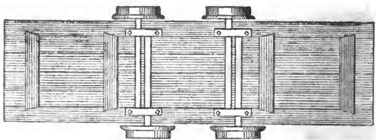


Fig. 141. *Train d'un chariot à quatre essieux.*

Ainsi les essieux fixes, convenablement espacés, peuvent être adoptés à presque tous les cas de circulation souterraine. M. Fournet a adopté, dans une des mines de Saint-Étienne, une disposition qui résout le problème d'une manière plus générale.

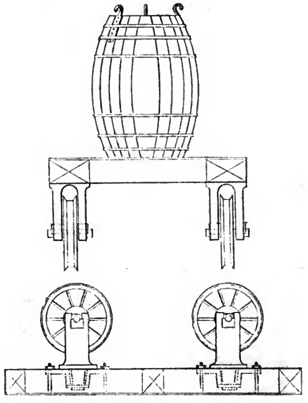


Fig. 142. *Plates-formes à roues indépendantes.*

Les roues sont à double rebord et peuvent être assimilées à des poulies à gorge. Chacune est calée sur un petit essieu fixé sur une chape qui peut tourner elle-même autour d'un axe vertical traversant les deux longrines du char; dès lors chaque roue étant indépendante et pouvant se prêter à ce double mouvement, le système peut traverser les courbes les plus roides sans donner

lieu à des frottements notables. Cette disposition, dont le seul inconvénient est de compliquer un peu la construction des trains, est avantageuse dans les cas de transports considérables, entravés par un grand nombre de courbes.

Le poids chargé dans les vagons de mine varie de 500 à 800 kilog. Or, dans l'établissement d'un transport actif, une des questions les plus importantes est le rapport du poids mort au poids utile. On sait que dans les voitures de terre il varie de m. 0,27 à m. 0,38 du poids total; dans le traînage des mines il est ordinairement de m. 0,25 : dans les divers cas de roulage souterrain il a été établi d'après les conditions suivantes.

	Poids mort.	Poids utile.
Plates-formes portant 4 bennes.	345	600 kilog.
Plates-formes portant 2 bennes.	340	400 »
Vagons à caisse fixe.	180	600 »
Vagons à bascule.	355	750 »

Le poids mort est donc pour ces divers cas m. 0,37, m. 0,45, m. 0,23, m. 0,32 du poids total. On devra, dans les constructions de vagons, s'efforcer de réduire les dimensions des bois et des fers aux strictes nécessités du service.

On a établi dans les mines de la Grand'Croix (Rive-de-Gier) un chemin de fer à un seul rail qui mérite d'être mentionné parce qu'il réduit le poids mort à ce qu'il est dans le traînage, c'est-à-dire à m. 0,25. Ce chemin de fer, attaché à chaque cadre du boisage au moyen de deux pièces de bois (fig. 143), consiste lui-même en longrines sur lesquelles on a fixé le rail. Une poulie supporte la benne au moyen d'un fléau en fer et d'une tige coudée qui reporte le centre de

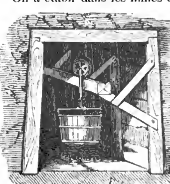


Fig. 143. *Galerie de roulage de la mine de la Grand'Croix à Rive-de-Gier.*

gravité du système dans l'axe du chemin de fer (fig. 144). On a disposé aux points d'arrivée et de départ une plate-forme sur laquelle les patins de la benne suspendue viennent se poser, de sorte que l'ouvrier rouleur n'ait pas besoin de soulever la charge. Ce mode de construction ne s'est pas répandu à cause des inconvénients qui résultent du ballottement des vagons-bennes ; il paraît cependant susceptible d'être amélioré, et conviendrait surtout aux mines où le sol est mauvais et d'un entretien coûteux.

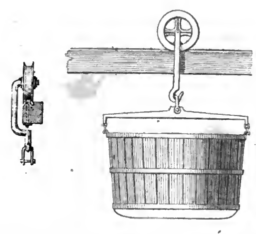


Fig. 144 *Chemin de fer à un seul rail pour le transport des bennes de traînage.*

Les chemins de fer souterrains sont établis généralement dans des galeries d'allongement, suivant la direction des gîtes, galeries dont les pentes sont très-peu sensibles. Lorsqu'on veut les utiliser dans les galeries qui suivent l'inclinaison et qui offrent des pentes de 10, 20° et au delà, on doit les établir sous forme de plans automoteurs. Les vagons y circulent attachés par une corde renvoyée par deux poulies, qui permet de remonter les vagons vides, en faisant descendre les vagons pleins. Sur l'une des deux poulies est placé un frein qui permet à l'ouvrier de régler la vitesse du système.

Pour faire remonter de fortes pentes à des vagons pleins, cas

fort rares dans les mines, on se sert de chevaux marchant sur une galerie de niveau et tirant la charge au moyen d'une poulie de renvoi. L'effet utile du cheval n'est ainsi diminué que dans une faible proportion.

Les chemins de fer établis dans les mines ont encore à profiter de nombreux perfectionnements apportés dans les grands chemins de fer de la surface; ainsi, par exemple, pour la circulation dans les courbes, le système de M. Arnoux serait certainement d'une application facile et avantageuse; le premier vagon, armé d'un clou à galet directeur, comme les chiens de mine, suffirait pour gouverner des trains composés de plusieurs vagons montés sur des essieux articulés; pour le retour, le clou directeur serait retiré et placé au vagon de l'autre extrémité.

Les hommes et les chevaux sont employés comme moteurs pour le service des transports sur chemin de fer; leur effet utile est considérable, comparé aux autres modes. Ainsi, un rouleur transporte dans les mines de la Loire 5,500 kilog. à 1 kilom. pendant son poste de huit heures; dans les mines d'Anzin, l'effet utile moyen d'un bon herscheur est de 6,600 kilog. L'effet utile des chevaux est augmenté dans une proportion encore plus remarquable, ainsi dans sa journée un bon cheval transportera de 30,000 à 40,000 kilog. à 1 kilom., suivant l'état des voies et du matériel.

Transformant ces résultats pratiques en dépense, on trouve que, dans les conditions moyennes, les transports faits sur les chemins de fer doivent coûter :

Pour 100 kil. transportés à 100 mètres de distance.	Pour les rouleurs.	0,0045
	Pour les chevaux.	0,0012

Les voies sont supposées à peu près horizontales; et s'il existe des pentes un peu prononcées, il faut modifier ces chiffres. Du reste, les moindres détails de la construction et de l'entretien du matériel et de la voie ayant une influence très-prononcée sur les résultats du roulage, l'ingénieur d'une mine doit apporter les plus grands soins à cette importante partie du service. Le graissage des roues doit se faire chaque jour pour les chars qui

travaillent beaucoup, et, lorsqu'on donne les transports à l'entreprise, il est essentiel d'y joindre l'entretien du matériel, afin que les mineurs aient un intérêt direct à le soigner. Il faut veiller à ce que les attaches des bricoles ou des palonniers de tirage ne soient pas placées trop bas; car le train, soulevé par la traction, serait exposé à sortir de la voie.

Dans quelques mines de l'Angleterre, les transports ont atteint un tel développement que des chemins de fer souterrains y ont été établis dans les mêmes conditions que les chemins de fer de la surface. On y emploie des vagons du plus grand modèle et même des machines locomotives. Dans ces cas exceptionnels, la construction des voies et du matériel réclame des études spéciales pour lesquelles nous renvoyons à l'ouvrage remarquable de MM. Perdonnet et Polonceau.

Extraction.

Les produits de l'abattage étant amenés par le transport au bas des puits d'extraction, il ne reste plus qu'à les élever jusqu'au jour. A cet effet, on prépare une chambre au bas du puits, c'est-à-dire qu'on élargit la galerie de manière à réserver un emplacement commode pour le chargement des bennes ou tonnes d'extraction et leur accrochage aux cordes qui servent à les enlever. La forme de cette chambre, dite chambre d'*accrochage* dans le cas où elle sert à la sortie des produits de l'exploitation, et de *recette* lorsqu'elle sert à la descente des bois, remblais, etc., varie suivant les méthodes de transport. Si le roulage se fait en plaçant sur des plates-formes les bennes destinées à être enlevées au jour, on doit élargir la galerie et en exhausser le plafond, afin qu'il soit facile aux ouvriers de recevoir la benne vide qu descend en l'attirant à eux au moyen de crochets, et de la décrocher pour lui en substituer une pleine qu'ils ont préparée pendant le temps qu'a duré l'ascension de la précédente. Si, au contraire, on doit décharger les chariots du roulage et transborder le minerai dans les bennes, il est plus commode d'abaisser le sol de la ga-

lerie, de manière à déverser les chariots dans les bennes placées à un niveau inférieur.

La chambre d'accrochage étant ainsi disposée suivant le mode de transport, il reste à déterminer la forme et la capacité des bennes, la nature des cordes, la disposition des molettes ou poulies qui servent à manœuvrer les cordes, enfin l'appareil moteur qui doit leur donner le mouvement.

Les *bennes* ont ordinairement la forme de tonneaux; elles sont renflées vers le milieu, afin d'empêcher qu'elles ne soient accrochées pendant leur course ascensionnelle, par les anfractuosités que présentent toujours les parois d'un puits. La partie supérieure porte trois crochets ou trois anneaux qui s'attachent aux trois bouts de chaîne par lesquels doit se terminer la corde. La capacité des bennes est très-variable parce qu'elle doit être proportionnée à la force du moteur.

Lorsqu'on a une machine à vapeur, on se sert de bennes qui contiennent de 500 à 800 kilog.; et si l'on veut directement enlever au jour les petites bennes qui ont été traînées dans les galeries à petite section conduisant aux tailles, sans en transborder le contenu, on en attache deux ensemble au moyen d'un fléau horizontal, et souvent même une troisième accrochée au bout de la corde au-dessous des deux autres. Lorsqu'on se sert d'hommes ou de chevaux pour moteurs, les bennes ont une capacité beaucoup moindre, et ne chargent que de 200 à 400 kilog.

On emploie, pour le service des bennes d'extraction, des *câbles* en chanvre ou en fil de fer, ronds ou plats, et quelquefois des chaînes en fer. Le choix de câbles solides et durables est d'autant plus important que les puits sont plus profonds et que le poids des câbles, s'ajoutant au poids à enlever, augmente d'autant les chances de rupture. Aussi, dans les puits d'une grande profondeur, doit-on s'opposer constamment à la descente des mineurs par les bennes, et les obliger à prendre la voie des échelles. La rupture des câbles a lieu surtout au départ d'une benne pleine, parce qu'à ce moment il se produit toujours un choc, et que la charge est à son maximum, puisque le câble est entièrement déroulé.

Les câbles plats sont surtout préférés dans les grandes exploitations pour les profondeurs de 200 mètres et au delà. On les compose de quatre câbles ronds, de m. 0,20 à 0,23 de diamètre, réunis par des coutures transversales ; ces câbles sont accolés de telle sorte que les torons se trouvent en sens inverse (fig. 145). Cette disposition a l'avantage de ne pas briser les fils extérieurs qui, lorsqu'une corde ronde de m. 0,05 à m. 0,06 de diamètre s'enroule sur un tambour, sont soumis à une tension bien supérieure à celle qu'éprouvent les fils en contact avec le tambour. Il résulte de cette disposition une plus grande durée pour le câble ; l'emploi des bobines qui servent pour les câbles plats est en outre bien plus avantageux pour le moteur que celui des tambours nécessaires aux cordes rondes.


Fig. 145.
Corde plate.

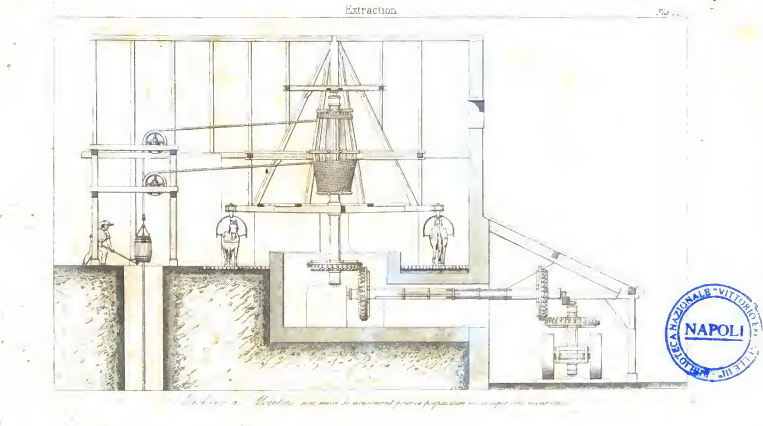
On se sert déjà, dans un grand nombre d'exploitations, de câbles en fils de fer très-peu tordus et tressés autour d'une âme en chanvre. Ces câbles, qui peuvent être d'ailleurs ronds ou plats comme les câbles en chanvre, ont moins de poids et durent plus long-temps. Dans les mines du Nord on se sert de câbles plats en chanvre pesant de 4 à 5 kilog. par mètre, et qui ne durent pas plus d'une année; tandis que les câbles en fer, placés dans des circonstances analogues, durent de dix-huit mois à deux ans. Les câbles en fil de fer non recuit sont les meilleurs ; l'âme en chanvre leur donne d'ailleurs une flexibilité qui permet de les enrouler sur des diamètres de 1 m. 50 à 1 m. 80 ; enfin, en ayant soin de les tenir bien goudronnés, on empêche complétement l'action de l'oxydation. M. Combes, comparant dans les mines d'Allemagne la dépense des câbles en chanvre à celle des câbles en fil de fer, a trouvé que, par 1000 kilog. de houille extraite, la dépense était :

	fr.
Pour les câbles de chanvre.	0,0578
Pour les câbles en fil de fer recuit.	0,0219
Pour les câbles en fil de fer non recuit.	0,0059

La question du choix des câbles est, comme on le voit, très-importante dans une grande exploitation, et, dans beaucoup de cas, on a trouvé avantageux de leur substituer des chaînes, dont l'entretien est plus facile et la durée plus considérable. Cette substitution eût été générale s'il n'en fût résulté d'autres inconvénients : d'abord le fer s'étire et s'altère par la traction; une chaîne, bien que fabriquée avec le plus grand soin, subit, au bout d'un certain temps de service, des ruptures nombreuses, or il est rare que la fracture d'une benne ne soit pas le résultat d'une rupture de la chaîne. En second lieu, le poids des chaînes étant constamment supérieur à celui des câbles, il faut employer un moteur plus puissant pour enlever la charge.

Les meilleures chaînes qui aient été faites sont celles de certaines mines du Cornwall; elles sont formées par la juxtaposition de deux chaînes dont les anneaux sont très-allongés, les anneaux dont le plan est vertical étant réunis et maintenus dans cette position par des tasseaux en bois. La chaîne, ainsi faite d'éléments dont la position ne peut changer pendant le mouvement, s'enroule sur des molettes polygonales; mais cette disposition a conduit à des chaînes très-pesantes dont l'usage ne s'est pas répandu. Enfin on a essayé sans succès, dans une mine de Belgique, l'emploi direct du fer feuillard. L'usage des câbles en fil de fer non recuit se répand au contraire de plus en plus; leur supériorité étant incontestable sous le double rapport de la durée et de la légèreté.

Lorsque les hommes sont employés comme moteurs, ils agissent au moyen d'un treuil placé suivant l'axe du puits. Les cordes sont directement enroulées sur le tambour du treuil, et la manœuvre est tellement simple qu'elle n'a besoin d'aucune explication. Mais le tambour du treuil ne pouvant avoir qu'un très-petit diamètre, m. 0,30 à m. 0,40, par exemple, cette méthode d'extraction est très-lente et ne peut convenir que pour le fonçage d'un puits où les matières à extraire sont de peu d'importance; elle est tout à fait insuffisante pour une exploitation de quelque



activité, et il faut substituer au treuil une machine à molettes mue par des chevaux ou par une machine à vapeur.

Le manége convient spécialement aux gîtes métallifères, ordinairement situés loin des villes et des centres d'industrie; aussi est-il d'un emploi très-fréquent pour l'extraction. La figure 146 représente la disposition généralement adoptée pour les machines à molettes : un arbre vertical porte un tambour composé de deux cônes tronqués, afin que la corde puisse s'y enrouler d'elle-même avec régularité. Les deux cordes, enroulées en sens inverse, passent sur deux poulies qui les renvoient dans l'axe du puits, de telle sorte qu'une benne descend pendant que l'autre monte. Il suffira d'ailleurs de jeter un coup d'œil sur la planche pour comprendre cette disposition et les détails de sa construction. Les chevaux sont attelés au moyen d'arcs tournants; ils peuvent donc se retourner facilement lorsque la benne du fond est parvenue à l'accrochage et qu'il faut en remonter une autre au jour. Il est rare, dans les mines métallifères, que le manége ait suffisamment à extraire pour utiliser sa journée; dans ce cas on peut enrouler les cordes après avoir décroché les bennes, embrayer un engrenage pour renvoi de mouvement, et consacrer le reste du temps soit à l'épuisement, soit à des préparations mécaniques. Sur la figure 146, cette disposition est indiquée par un engrenage qui donne le mouvement à un tordoir composé de deux meules verticales affectées à l'écrasement des minerais.

La vitesse des manéges est de cinq à six tours par minute; le diamètre des tambours est déterminé par le poids à soulever au départ, poids qui se compose de la charge en minerai et du poids de la corde : la benne qui monte étant équilibrée par la benne qui descend. Dans les conditions moyennes d'une profondeur de 100 mètres, le diamètre de m. 1,30 peut enlever avec deux chevaux une charge de 600 à 800 kilog. tout compris; le manége ayant 5 mètres de rayon : lorsque le départ est effectué, la charge est de plus en plus équilibrée par le poids de la corde descendante qui se déroule. Le mouvement des bennes a, dans ce cas, une vitesse de 20 mètres par minute ou m. 0,33 par seconde.

Avec quatre chevaux on pourra doubler la vitesse, ou, ce qui est mieux, enlever une charge double.

Dans les calculs de manége on peut compter l'effort du cheval comme équivalant à 60 kilog. L'effet utile d'un cheval en une journée et pour une profondeur moyenne de 100 mètres est toujours un peu au-dessus de 1,000,000 kilog. élevés à un mètre. Il faudrait plus de six hommes, travaillant à un treuil, pour arriver au même résultat. (L'effet utile, réel, d'un homme appliqué à l'extraction est de 150,000 kilog.; l'effet théorique étant, d'après Belidor, de 173,000 kilog.)

La vitesse des manéges ne permettant qu'une extraction faible et insuffisante lorsqu'il s'agit de matières telles que la houille, ou de minerais de peu de valeur qui doivent être triés au jour, il faut avoir recours à un moteur plus puissant; ce moteur est ordinairement la vapeur.

Un tambour composé comme celui de la machine à molettes, est placé horizontalement à 10 ou 15 mètres du puits; les molettes sur lesquelles roulent les cordes du tambour étant supportées par une charpente isolée, placée au-dessus du puits (fig. 147). ce tambour est mis en mouvement par une machine à vapeur dont la force doit être calculée d'après les éléments de la charge, la vitesse moyenne dans le puits étant de 1 mètre par seconde.

Dans les puits profonds, l'effort à surmonter pour la mise en mouvement est considérablement augmenté par le poids des cordes; et si l'on se bornait à calculer les dimensions du cylindre moteur d'après la résistance moyenne, il pourrait arriver que le départ ne pût avoir lieu. Dès lors il serait avantageux de faire varier le diamètre du tambour afin que la vitesse, faible au départ, s'accrût à mesure que la charge monterait et que la corde descendante se déroulerait en ajoutant son poids toujours croissant à la force motrice. Tel est le but des tambours coniques, mais cette condition est bien mieux remplie par les cordes plates enroulées sur des bobines. Le rayon minimum existe en effet lorsque la corde, étant déroulée jusqu'au bas du puits, va s'enrouler de nouveau, et ce rayon augmente à chaque tour de l'épaisseur

de la corde; or la vitesse, étant proportionnée au rayon, est à son minimum au départ et s'accélère jusqu'à la fin de l'ascension.

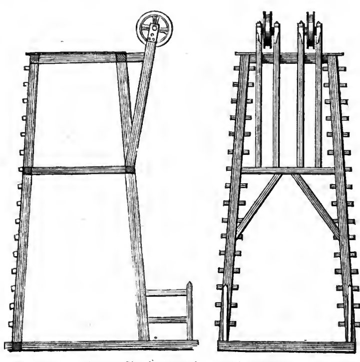


Fig. 147. *Chevalets avec molettes pour l'extraction.*

Supposons une bobine de 1 m. 30 de diamètre au point de départ; la machine à vapeur, faisant 28 révolutions par minute, aurait une vitesse beaucoup trop grande si elle donnait directement le mouvement à l'arbre des bobines, car la vitesse serait de 1 m. 80 par seconde au départ; un engrenage est donc nécessaire; admettons que le pignon de la machine ait un diamètre égal au quart de celui de la roue, la vitesse au départ sera de m. 0,45; mais à chaque tour, le diamètre étant augmenté de m. 0,05, s'il doit y avoir en totalité 30 tours superposés, le diamètre sera augmenté de m. 1,50 à la fin de la course

et la circonférence sera de m. 8,80, ce qui portera la vitesse à la fin de la course à plus d'un mètre par seconde : le développement total de la corde étant de 192 mètres. Avec ce même point de départ, si la profondeur est de 300 mètres, la vitesse moyenne deviendra considérable.

On voit qu'il sera facile de combiner l'engrenage et le diamètre des bobines ou du tambour, de manière à obtenir une vitesse moyenne d'un mètre; quant à la disposition des bobines, elle est représentée (fig. 148). L'arbre du volant de la machine

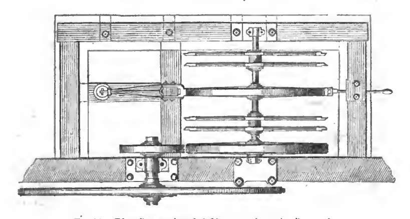


Fig. 148. *Plan d'un système de bobines pour le service d'extraction.*

donne le mouvement au pignon qui engrène avec la roue de l'arbr des bobines; entre ces deux bobines, on place un frein qui sert à arrêter l'appareil en cas d'accident tel que la rupture d'une corde, etc. Il reste à calculer la force nécessaire pour mettre ce système en mouvement. Ce calcul est assez facile en prenant pour base l'effort total en kilogramètres ; mais le point de départ est également un élément essentiel, et, pour n'éprouver aucun embarras de ce côté, on est dans l'usage de donner aux cylindres moteurs une force bien supérieure à celle qui est strictement nécessaire. Ainsi, dans les houillères du Nord on a généralement adopté les conditions suivantes qui déterminent le poids tota que le moteur doit enlever au point de départ :

Profondeur, 200 mètres.			Profondeur, 400 mètres.	
Charge.	750	kilog.	Charge.	750
Benne.	250	»	Benne.	250
Poids de la corde.	1,000	»	Poids de la corde.	2,000
	2,000			3,000

Cylindre moteur.	Diamètre.	0,33	Cylindre moteur.	Diamètre.	0,40
	Course.	1,10		Course.	1,30

Dans le premier cas la force est comptée pour douze chevaux, et dans le second cas pour seize. Les machines sont à haute pression sans condensation; la pression est de 2 à 3 atmosphères.

L'effet utile d'une machine d'extraction est d'autant plus faible que la profondeur est moindre, parce que le temps perdu est plus considérable. Ces machines donnent entre 30 et 45 dynamodes d'effet utile par kilogramme de houille brûlée; la détente ne leur est pas applicable à cause de la nécessité d'arrêter souvent et de retourner le sens de la marche. Pour un puits de 400 mètres il faudra environ 8 à 9 minutes pour l'ascension d'une benne, environ 3 à 4 minutes pour la manœuvre; on en montera donc 4 à 5 par heure.

Les appareils de détente comportent peu les renversements de mouvement qui se répètent trois fois par benne, et, lorsqu'on veut l'employer, c'est-à-dire lorsque le combustible a une valeur notable, il faut adopter, ainsi que l'a fait la compagnie d'Anzin, les machines de Woolf, à deux cylindres.

Quant à la disposition des machines, les meilleures sont celles à balancier; mais, pour les faibles forces, on a adopté dans beaucoup de mines les machines à cylindre horizontal dont l'ensemble est monté sur une seule plaque de fonte; ces machines sont faciles à déplacer, condition souvent nécessaire pour les fonçages. Le dispositif pour le renversement du mouvement doit être simple et facile à manœuvrer; le mécanicien qui tient les manettes a l'œil sur l'orifice du puits et l'arrivée de la benne étant indiquée à l'avance par un repère sur la corde ou par une sonnette placée dans le puits, il ralentit le mouvement pour l'arrêter subitement, et le renverser lorsque la benne est arrivée à la hauteur convenable.

Les bennes sont tirées à leur arrivée au jour par des ouvriers dits *receveurs* qui les décrochent, les renversent et les vident. La halde sur laquelle se fait cette manœuvre doit être exhaussée d'environ 3 mètres au-dessus du terrain environnant; elle doit être disposée de telle sorte que les matières extraites soient faciles à entasser et à cuber si elles doivent rester sur place, ou faciles à charger si elles doivent être transportées plus loin. Lorsque les bennes sont employées à des épuisements, la halde doit être également pourvue d'un canal d'écoulement; la manœuvre de ces épuisements se fait d'une manière très-commode à l'aide d'un chariot que l'on pousse sur le puits lorsque la benne est en haut et sur lequel on la fait ensuite descendre; la benne porte à son fond un clapet avec une tige qui se lève lorsqu'elle est posée et permet à l'eau de s'écouler. Toutes ces dispositions de détail sont d'ailleurs inutiles à décrire parce qu'elles varient suivant les localités, et qu'on ne peut être embarrassé pour trouver celles qui conviennent le mieux aux circonstances.

Lorsque des vagons doivent transporter plus loin les produits de l'extraction, on peut rouler les bennes jusqu'à l'estacade de chargement et les vider dans les vagons. On évitera ainsi un transbordement toujours préjudiciable à certaines matières; à Newcastle, on se sert même d'appareils qui prennent les vagons ainsi chargés et les descendent du haut des falaises jusque dans les bateaux.

CHAPITRE DOUZIÈME.

ÉPUISEMENT DES EAUX.

Nous avons déjà parlé des eaux qui circulaient dans certaines couches perméables et constituaient de véritables cours d'eau souterrains appelés nappes artésiennes, ou niveaux ; nous avons indiqué le moyen de traverser ces niveaux et d'en garantir les travaux souterrains; mais, indépendamment de ces nappes puissantes, la plupart des terrains donnent lieu à des infiltrations multipliées. Ces infiltrations, rassemblées suivant quelques fissures ou délits du terrain, forment des filets d'eau qui tombent dans la mine; d'autrefois elles s'échappent en gouttes des pores de la roche et produisent une pluie fine et continue. Enfin, il arrive quelquefois, même dans les terrains les plus secs, qu'une source est mise à découvert, et amène subitement dans les travaux une quantité d'eau notable.

Toutes ces causes réunies agissent dans les mines avec plus ou moins d'intensité; mais, dans presque tous les cas, les travaux profonds abandonnés à eux-mêmes se remplissent d'eau jusqu'à un certain niveau. Il importe donc d'établir des moyens d'épuisement proportionnés à la masse d'eau qu'on doit extraire pour maintenir les travaux à sec, et de pouvoir développer ces moyens d'épuisement dans les exploitations actives, en raison des surfaces successivement mises à découvert par l'avancement des travaux.

Dans les travaux à ciel ouvert où il faut se débarrasser en outre des eaux pluviales, on dispose un système de rigoles qui conduisent les eaux en un ou plusieurs points ou elles sont épuisées par des moyens mécaniques tels que des seaux ou tennes, des

pompes en bois ou fonte, des vis d'Archimède, des norias ou chapelets, ou, ce qui est mieux, par des moyens d'écoulement naturels, tels que puits absorbants, galeries, tranchées aboutissant vers un niveau plus bas, etc. Souvent les deux moyens sont combinés; et comme dans le plus grand nombre des cas on n'opère que sur des niveaux peu différents, les moyens mécaniques sont mis en mouvement par des hommes. L'épuisement réduit à ces proportions est tellement simple, qu'il serait inutile d'entrer dans aucun développement, et qu'il suffirait de renvoyer aux traités de mécanique; mais, dans les exploitations profondes et étendues, les appareils arrivent à des conditions inusitées et ne peuvent plus être rapprochés des moyens ordinaires, ce sont ces appareils spéciaux qu'il est indispensable de connaître.

Galeries d'écoulement.

Dans les mines situées en pays de montagnes, on peut ordinairement atteindre les gîtes par des galeries partant de la partie inférieure de quelques vallons; ces galeries fournissent un écoulement naturel aux eaux de tous les travaux dont le niveau leur est supérieur, et en vertu de cette fonction elles ont reçu la dénomination de *galeries d'écoulement.*

Les avantages de ces galeries d'écoulement sont nombreux, et ont souvent déterminé l'entreprise de travaux longs et dispendieux. En effet, non-seulement elles sont préférables aux moyens mécaniques parce qu'elles n'exigent que peu d'entretien; mais, en donnant issue aux eaux supérieures, elles créent des forces motrices dont on peut disposer pour le service d'extraction ou d'épuisement des travaux inférieurs; enfin elles peuvent fournir les moyens les plus économiques pour les autres services de la mine, comme l'aérage forcé ou l'extraction des matières abattues.

Une galerie d'écoulement peut souvent être disposée de manière à desservir à la fois l'exploitation de plusieurs filons. C'est en vue de tous ces avantages réunis qu'on a entrepris dans le district de Schemnitz, en Hongrie, une galerie de 16,000 mètres

de longueur destinée au service des principales mines du district sous le double rapport de l'écoulement des eaux, du roulage et de la création de forces mécaniques; elle a été de plus dirigée de manière à explorer le sol pour la recherche de nouveaux filons. Au Hartz, la grande galerie d'écoulement des mines de Clausthal, qui a 10,400 mètres de longueur et qui a coûté 1,600,000 f., sert également à un grand nombre de mines pour les diverses branches du service. L'usage de ces galeries est général dans les pays de mines.

Ces galeries doivent recevoir une pente d'environ $\frac{1}{500}$ pour l'écoulement des eaux. Quant aux conditions de leur position et de leur percement, les détails qui suivent et qui précèdent sur les galeries en général et les diverses branches du service des mines, tels que recherches, travaux préparatoires, aérage et roulage, suffiront pour faire apprécier les directions qui seront les plus avantageuses. Le percement de ces galeries doit d'ailleurs être facilité, comme celui des tunnels, par des puits intermédiaires qui permettent d'attaquer sur plusieurs points le travail, qui, sans cette précaution, durerait beaucoup trop long-temps.

Dans les régions métallifères qui sont ordinairement très-accidentées, on a pu tirer un grand parti des galeries d'écoulement; il est cependant assez rare que leur établissement puisse suffire à l'asséchement des mines. Dans les contrées peu accidentées il est à plus forte raison impossible d'arriver ainsi à des moyens d'écoulement naturel des eaux, et il faut nécessairement avoir recours à des moyens mécaniques d'épuisement. Ces moyens doivent être proportionnés aux efforts à exercer; ils sont donc assez variables. Ainsi, dans les mines où il y a peu d'eau, les machines employées pour l'extraction sont disposées de manière à donner un mouvement alternatif à des équerres réunies par des tirants horizontaux; ces équerres transmettent le mouvement à des tiges verticales qui sont attachées à des pompes. Souvent même l'épuisement est intermittent et se fait, ainsi qu'il est dit plus haut, avec des bennes à soupape, dont la manœuvre est analogue à celle des bennes employées à l'extraction des minerais.

Pompes employées dans les mines.

Fig. 149. *Pompe élévatoire.*

Fig. 150. *Piston creux.*

Les pompes dont on se sert dans les mines peuvent toutes être rapportées à deux types dont on doit s'éloigner le moins possible : la pompe *élévatoire* à piston creux, et la pompe *foulante* à piston plein.

Le type de la pompe élévatoire (fig. 149) consiste en un tuyau alésé dans lequel se meut un piston creux à clapets (fig. 150). Au-dessous de ce tuyau, dit corps travaillant, est une chapelle avec un clapet de retenue, puis enfin la colonne des tuyaux aspirants, laquelle ne doit pas dépasser 3 à 4 mètres de longueur. La colonne des tuyaux élévatoires est superposée immédiatement au corps travaillant, et la tige se meut par conséquent dans toute la hauteur de ces tuyaux. Ceci posé, dès que le piston reçoit son mouvement alternatif, l'eau, aspirée pendant le mouvement ascensionnel, est élevée jusqu'au dégorgeoir sur le piston lui-même ; pendant le mouvement de descente, l'eau, arrêtée par le clapet du bas, passe à travers les clapets du piston pour être élevée par le mouvement ascensionnel qui suivra.

Le grand avantage de ces pompes élévatoires est de n'obliger l'eau à aucun coude, et de réduire les frottements à leur minimum. Il y a plus : si nous supposons que le piston descende par son propre poids, mais que le mouvement ascensionnel qui lui est imprimé soit subit et rapide, la colonne d'eau, violemment

enlevée par ce mouvement, ne s'arrêtera pas aussitôt que le piston s'arrêtera lui-même; elle conservera encore une impulsion qui maintiendra les clapets ouverts et permettra à une certaine quantité d'eau de passer encore au-dessus du piston, alors même que toute action de l'appareil aura cessé. Il résulte de là que ces pompes, supposées bien construites et en bon état d'entretien, loin de donner lieu à un débit pratique inférieur au débit théorique, c'est-à-dire à la capacité du corps travaillant, en donnent réellement un supérieur.

J'ai constaté aux mines de Bruille (Nord) que le débit obtenu par des pompes élévatoires dans de bonnes conditions d'entretien, établies à des relais de 30 mètres de hauteur, était supérieur d'un douzième au débit théorique. Lors donc qu'on établit des relais de pompes qui se desservent les uns les autres et montent ainsi l'eau en plusieurs reprises jusqu'au jour, si des pompes foulantes (qui ne jouissent pas des mêmes avantages) desservent des pompes élévatoires, leur capacité doit être calculée de manière à dépasser d'environ $\frac{1}{12}$ celle des corps élévatoires.

Il y a peu à dire sur la construction des pompes élévatoires. Les clapets doivent présenter des orifices larges et jouer facilement; dans les mines du Nord, on les taille souvent dans un cercle en cuir de 0,007 d'épaisseur; on ne découpe ce cercle que sur les trois quarts de sa circonférence, la partie laissée adhérente devant servir de charnière. Le cuir battant est ensuite surmonté d'un autre cuir qui déborde le premier de 0,025, pour former le recouvrement, et deux plaques de tôle ou de cuivre sont disposées, l'une en dessous, l'autre en dessus, de manière à consolider le clapet D'autres fois ces clapets sont fixés sur des siéges mobiles, de manière que, la chapelle du bas étant ouverte, on puisse les retirer en cas d'accident pour en placer de nouveaux. Les dispositions doivent, en tous cas, être prises de telle sorte que les interruptions pour réparations ou rechanges soient aussi courtes que possible.

Le piston élévatoire (fig. 150) est fait en fonte ou en bronze, avec clapets à charnière de cuir. Ce piston est conique, de sorte qu'un cuir embouti est appliqué par un cercle de fer ou frette qui

ne frotte pas, tandis que la partie supérieure du cuir, dépassant un peu le piston, établit une juxtaposition parfaite du piston avec le corps alésé, par suite de sa tendance à se retourner sous le poids de l'eau. Le piston se démonte de la tige au moyen d'une clavette qui serre le tout.

Quant au corps de pompe proprement dit, il doit être bien alésé, et d'un diamètre de 3 à 4 centimètres plus petit que les tuyaux de la colonne élévatoire. La différence des diamètres est adoucie par un évasement aux deux extrémités, de telle sorte qu'on peut, en cas de réparation, retirer le piston par en haut en enlevant les tiges, et le remplacer par un autre qu'on redescend dans le corps travaillant; ou bien encore détacher et laisser tomber les tiges et par conséquent le piston sur le clapet de retenue, ouvrir la chapelle, faire le changement, puis remonter le tout en place.

Ce type de pompe, adopté dans les mines de houille du nord de la France et de la Belgique, dans celles d'Angleterre, et dans les mines métallifères de Cornwall où les épuisements ont été plus étudiés que partout ailleurs, peut subir quelques variations dans sa forme; mais le mieux est de s'en écarter le moins possible; car aucune pompe n'est d'une construction et d'un entretien aussi simples et ne donne lieu à un aussi grand effet utile. Il est cependant nécessaire, ainsi qu'il sera exposé en traitant de l'ensemble, d'adopter également des pompes qui aient un jeu inverse, c'est-à-dire qui refoulent l'eau par la descente des tiges.

La pompe foulante la plus généralement adoptée est celle qu'on nomme pompe à plongeur (fig. 151). Elle consiste en un corps de pompe non alésé, portant à sa partie supérieure un long stuffing-box dans lequel passe un plongeur. Ce plongeur est un tuyau bien calibré et tourné, fermé par le bout de manière à jouer le rôle d'un corps plein. Le corps de pompe repose sur une chapelle portant, directement au-dessous du corps de pompe, un clapet d'aspiration, puis quelques mètres de tuyaux aspirants. Au-dessus de la chapelle est un second clapet, dit clapet de refoulement, qui reste fermé pendant le mouvement ascensionnel et se lève pour laisser passer l'eau refoulée par le mouvement

Fig. 151. *Pompe foulante à plongeur.*

de descente. La colonne montante est au-dessus de ce second clapet, et s'élève par conséquent à côté du corps de pompe et des tiges foulantes fixées dans le tuyau plongeur.

La construction de cette pompe et des clapets est suffisamment indiquée par la figure 151. Une précaution essentielle à prendre avant de la mettre en mouvement est d'éviter que les espaces perdus entre les deux clapets d'une part, et d'autre part entre le corps de pompe et le plongeur, ne restent remplis d'air. Il faut que la pompe soit bien amorcée, et à cet effet on perce le clapet supérieur d'un trou de 4 à 5 millimètres qui permet d'amorcer par la colonne montante sans nuire au jeu de l'appareil; s'il y a un espace notable vide dans le corps de pompe, on place un petit robinet dans sa partie supérieure au-dessous du stuffing-box, de manière à chasser l'air si la pompe hésitait à fonctionner dès les premiers mouvements. Quant aux clapets, ils sont placés sur des siéges mobiles et peuvent être changés rapidement après que l'on a ouvert les portes des chapelles. Ces siéges sont tournés extérieurement et simplement posés dans les parties alésées des chapelles, sans qu'il soit nécessaire de faire aucun joint. Les chapelles étant en fonte, ainsi que le corps de pompe, on fait habituellement ces siéges en bronze ainsi que le plongeur. On évite ainsi l'action corrosive des eaux, presque toujours acides dans les mines, par suite de la décomposition des pyrites.

Les pompes foulantes sont sujettes à quelques variations dans leur disposition; ainsi on peut adopter un simple piston plein à garniture de cuir, se mouvant dans un corps alésé au moyen d'une tige de petit diamètre et passant dans un stuffing-box; les clapets, au lieu d'être en cuir, peuvent être entièrement en métal et reposer sur des siéges de même nature; telles sont les pompes adoptées dans les mines d'Huelgoat en Bretagne. Mais cette disposition a été déterminée par des conditions spéciales, et généralement les pompes à plongeur du Cornwall sont préférées, comme étant d'une construction plus économique et d'un entretien plus simple.

La hauteur d'action qu'on doit donner à chaque pompe, dans un puits de mine, est une des questions les plus intéressantes de l'épuisement. Il est évident que chaque système pourrait théoriquement élever les eaux à une hauteur indéfinie; mais il faudrait pour cela que les pièces sur lesquelles repose le jeu de la pompe pussent être construites de manière à offrir une résistance proportionnée. C'est la pratique seule qui peut déterminer la résistance dont les clapets et les garnitures des pistons sont susceptibles, eu égards aux éléments de leur construction; on a reconnu qu'au delà de 60 mètres les réparations devenaient très-multipliées et très-préjudiciables à la régularité du service, tandis qu'à 30 ou 40 mètres de pression ces réparations étaient très-rares, les pompes pouvant fonctionner, par exemple, pendant plus de 15 jours sans aucune interruption. On a donc adopté, dans les mines de houille du Nord, des relais de 30 en 30 mètres. A chacun de ces niveaux, l'eau est déversée dans une bâche où elle est reprise par la pompe supérieure. Dans quelques mines on envoie l'eau élevée par une pompe directement dans les tuyaux aspiratoires de l'autre au moyen d'un tuyau coudé en siphon; cette disposition est plus avantageuse en ce qu'elle donne lieu à moins de fuites. L'aspirant de la pompe du fond, placé dans un puisard où se rassemblent les eaux de la mine, est fermé par le bas et percé de trous jusqu'à la hauteur ordinaire de l'eau du puisard, afin qu'il n'y ait pas aspiration de ces débris de roches et de bois qui tombent au fond du puits et pourraient empêcher le jeu des clapets; l'eau est ainsi portée au jour par reprises de 30 en 30 mètres, et là on s'en débarrasse en la dirigeant vers les points d'écoulement naturels.

Dans les mines du Cornwall, les pompes ont 60 mètres de hauteur d'action; on va souvent à 100 mètres dans les mines de Saint-Étienne et de Rive-de-Gier. Aux mines d'Huelgoat, des pompes foulantes élèvent directement l'eau, jusqu'au jour, par un seul jet de 240 mètres. Enfin, dans les mines de sel de la Bavière, on a établi des pompes qui montent directement, à 370 mètres de hauteur, des eaux salées dont la pesanteur spé-

cifique porte la charge des clapets au chiffre de 460 mètres d'eau. Mais ces dernières dispositions sont motivées, ainsi que nous l'avons dit précédemment, par des circonstances spéciales, et la construction de ces pompes devient beaucoup plus coûteuse que celle des pompes à plongeurs. Dans la pratique ordinaire, on préfère diviser la colonne.

Les tuyaux des colonnes montantes se font ordinairement en fonte ; on leur donne environ 2 mètres 50 de hauteur et m. 0,025 d'épaisseur ; ils doivent être essayés à la presse hydraulique avant d'être employés. Les assemblages sont à brides, et les joints se font soit avec une rondelle de plomb et du mastic rouge, soit avec une rondelle de feutre garnie de toile ou d'étoupe qu'on plonge ensuite dans du goudron.

Nous avons dit que les eaux des mines étaient souvent acides ; dans cet état, leur action prolongée sur l'intérieur des tuyaux finirait par les détruire assez rapidement si l'on ne prenait quelques précautions pour les préserver. Les enduits dont on se sert à cet effet n'ont qu'une influence momentanée et, dans les mines de Cornwall, on a imaginé de revêtir l'intérieur de chaque tuyau avec des douelles en bois ; les deux dernières douelles ont la forme de coins et permettent d'exercer un serrage de toute la garniture intérieure contre la paroi du tuyau qui a été préalablement goudronnée à chaud. Des tuyaux ainsi garnis sont susceptibles d'une très-longue durée.

Quant aux bâches et conduits dont on a souvent besoin dans ces sortes de travaux, on les exécute ordinairement avec des plateaux de chêne bien sains et serrés par des boulons. On trouve dans les pays de mines où se montent habituellement des machines d'épuisement, par exemple dans le département du Nord, des charpentiers très-expérimentés dans toutes les constructions de ce genre. On peut aussi faire les bâches en fonte.

Organisation d'un système d'épuisement. Équilibre.

Lorsque le service d'une mine exige un épuisement important,

il faut consacrer un puits spécial à l'établissement du système de pompes et de colonnes de tuyaux qui doivent élever les eaux du fond à la surface. Les pompes sont fixées au niveau qu'elles doivent occuper au moyen de moises et de traverses fortement scellées dans les parois ; les colonnes de tuyaux sont égalément moisées tous les 4 ou 5 mètres, et la charpente est disposée de manière à faciliter, au moyen de planches, l'accès de toute la partie du système ayant besoin de surveillance et d'entretien. Cela fait, il reste à établir les tiges qui doivent donner le mouvement aux pompes, le moteur étant ordinairement placé à la surface, près de l'orifice du puits ; à cet effet il existe encore un type de disposition dont on doit s'écarter le moins possible.

Une maîtresse tige est d'abord montée depuis le point d'attache au moteur jusqu'au-dessous du dernier corps de pompe ; cette maîtresse tige est composée de pièces de bois équarries, assemblées bout à bout et dont la force est proportionnée à l'effort à produire. Ainsi par exemple, dans les conditions les plus ordinaires de ce genre de machines, s'il s'agit d'extraire un mètre cube par minute de la profondeur de 150 à 200 mètres, travail pour lequel on emploie par conséquent des pompes d'environ m. 0,27 de diamètre, ayant 2 mètres de course et donnant 9 à 10 coups par minute, on composera la maîtresse tige de bois choisis ayant 0,25 d'équarissage ; les assemblages seront faits par des entailles en traits de Jupiter, serrés d'abord par deux coins superposés afin que la juxtaposition des abouts soit parfaite, puis consolidés au moyen de platines ou bandes de fer réunies entre elles par des boulons de m. 0,028 de diamètre (figure 152).

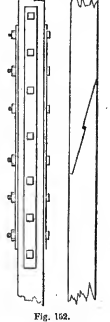


Fig. 152.
Assemblage des pièces d'une maîtresse tige.

Si l'effort doit être plus grand, soit parce que les pompes sont beaucoup plus fortes, soit parce que la profondeur est de 300 à 400 mètres, il faut que les parties supérieures, sinon toute la maîtresse tige, aient de plus fortes dimensions. Quelquefois même il serait difficile de trouver de longues pièces de bois de l'équarrissage précédemment indiqué, et dès lors on compose la maîtresse tige de deux pièces jumelles, reliées dans toute leur longueur par des platines et des boulons. Les joints se font, ainsi qu'il est indiqué (fig. 153), en plaçant les pièces bout à bout et les serrant par des coins. La force des platines est calculée de manière à résister au besoin à tout l'effort de la tige.

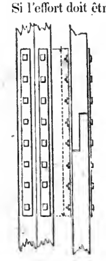


Fig. 153.
Maîtresse tige double.

La maîtresse tige, recevant du moteur le mouvement oscillatoire et le transmettant aux pompes, doit être guidée de distance en distance, et s'appuyer à l'état de repos sur des tasseaux. Pour atteler à la maîtresse tige la tige d'une pompe élévatoire, on place dans l'axe de celle-ci une moufle ou un crochet qui est lui-même fixé au moyen d'une plate-bande dont l'écartement est maintenu par un remplissage en bois ; les tiges des pompes élévatoires sont également en bois de m. 0,12 à m. 0,15 d'équarrissage. Pour atteler une pompe foulante dont la tige se compose elle-même d'une pièce de bois enfoncée dans le plongeur et parallèle à la maîtresse tige, on garnit l'intervalle qui sépare les deux pièces, par un remplissage en bois (fig. 154), quelquefois par une pièce de fonte; puis on frette et on boulonne tout le système de manière

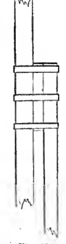


Fig. 154.
Assemblage de la tige d'une pompe foulante à la maîtresse tige.

à en rendre les diverses parties bien solidaires. Ces tiges sont exécutées en chêne ou sapin suivant les localités.

Un pareil attirail ne peut manquer d'avoir un poids considérable; dans les conditions moyennes déjà citées, ce poids sera de 6 à 8000 kilogrammes de bois et fer. En le rapportant au moteur qui doit imprimer un mouvement alternatif à tout le système, on voit que les deux oscillations de montée et de descente seront dans des conditions tout à fait différentes. Si, par exemple, tout le système était composé de pompes élévatoires, le moteur devrait enlever : 1° les tiges pesant environ 8,000 kilogrammes; 2° la colonne d'eau qui, sur des pistons de m. 0,28 de diamètre et pour une hauteur totale de 200 mètres, pèserait plus de 12,000 kilog. : total 20,000 kilog., plus les frottements à surmonter; tandis que la descente, loin d'exiger un effort, serait, au contraire, sollicitée par un poids de 8,000 kilog.

Dans cette condition, il faut équilibrer la maîtresse tige de telle sorte que la descente ait lieu par son propre poids, et par l'effet d'un faible excédant; 60 à 80 kilog. suffisent pour faire descendre la tige en 2 ou 3 secondes d'une hauteur de 2 mètres, sans qu'il y ait choc. Cet équilibre peut être établi de deux manières : 1° par des contre-poids spéciaux, 2° par les pompes elles-mêmes en plaçant, par exemple, des pompes à plongeur qui refoulent l'eau pendant la descente de la tige sur une hauteur équivalant à 8,000 kilog., et se réservant seulement les moyens de surcharger un peu la maîtresse tige, de manière à déterminer exactement sa descente dans les conditions convenables. Enfin l'équilibre peut être encore établi par la combinaison des deux procédés.

La combinaison des pompes élévatoires et des pompes foulantes, calculée de manière que l'effort du moteur n'ait lieu que pour enlever la charge et que l'attirail retombe ensuite abandonné à lui-même, est sans contredit le moyen le plus simple et celui qui doit être préféré; mais il n'est pas toujours possible d'arriver ainsi à un équilibre complet. Dans les puits de 300 à 400 mètres, par exemple, avec des maîtresses tiges très-lourdes et des co-

lonnes faibles, il peut y avoir excédant de poids, lors même que toute la colonne serait composée de pompes foulantes. D'autres fois un contre-poids est nécessaire, parce que les conditions d'approfondissement des travaux obligent d'ajouter aux tiges un poids supplémentaire qui ne peut être équilibré par les pompes foulantes déjà établies.

Les contre-poids destinés à équilibrer une partie de la maîtresse tige consistent ordinairement en poids chargés dans une caisse, laquelle est placée à l'extrémité d'un balancier qui à son autre bout est lié à la maîtresse tige. Cet appareil, dit contre-balancier (figure 155), porte ainsi un contre-poids que l'on peut faire varier

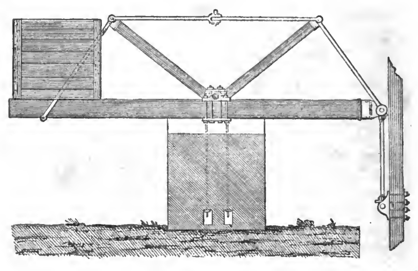


Fig. 155. *Contre-balancier.*

suivant les exigences du moment ; il est attelé à la maîtresse tige soit par une chaîne roulant sur un secteur, soit par l'intermédiaire d'une bielle. Une tige peut être équilibrée par un ou plusieurs de ces contre-balanciers que l'on dispose à l'orifice du puits, ou même dans des chambres pratiquées latéralement à l'intérieur du puits.

Dans les mines du Cornwall on se sert, pour équilibrer la maîtresse tige, d'un contre-poids d'eau ; la maîtresse tige se termine par un plongeur, lequel est soulevé au moyen d'un tuyau coudé en siphon, par une hauteur d'eau remplissant une colonne spéciale de tuyaux, élevée à cet effet. Cette méthode d'équilibre par une colonne d'eau est sans contredit préférable aux contre-balanciers, en ce qu'elle donne lieu à moins de frottements et qu'elle occupe moins de place.

Des moteurs appliqués à l'épuisement.

Il suffit de se reporter au simple énoncé de l'effort nécessaire au mouvement d'un pareil système pour reconnaître que les machines *à simple effet* sont les seules convenables. Il ne s'agit, en effet, que d'enlever un poids donné, et de l'abandonner ensuite à lui-même.

La machine à vapeur est le moteur le plus ordinaire, celui qui convient le mieux à presque toutes les localités. Parmi les constructions de machines à simple effet, on n'a à choisir qu'entre deux systèmes : la machine de Newcomen et la machine du Cornwall.

Les machines de Newcomen sont quelquefois encore appliquées aux épuisements, surtout en Belgique et dans le nord de la France, pour passer les niveaux dans le creusement des avaleresses. On les emploie parce qu'elles sont les plus simples et les moins coûteuses à construire. Dans ces machines, la vapeur, agissant sur le piston, enlève la charge ; puis, au moyen d'une soupape qui, au bout de la course, met en communication le dessus et le dessous du piston, cette vapeur passe au-dessous par l'entraînement de la maîtresse tige. La condensation de la vapeur qui a travaillé se fait, au moyen d'une injection d'eau froide, dans le cylindre lui-même, et un peu avant le décrochement de la soupape qui ramène la vapeur sur le piston.

Ces machines d'épuisement consomment beaucoup de combustible par suite du refroidissement du cylindre à chaque oscillation ;

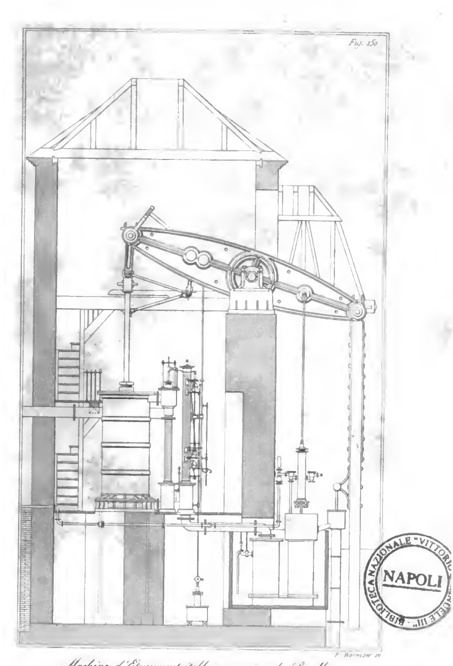
elles n'ont d'autre mérite que leur simplicité et doivent par conséquent être construites avec la plus grande économie. Le balancier est en bois, armé à chaque extrémité de deux secteurs sur lesquels roulent deux bouts de chaîne à la Vaucanson attachés, d'un côté, au piston du cylindre à vapeur, et de l'autre à la maîtresse tige, de manière à éviter la construction des parallélogrammes.

Cette machine d'épuisement a reçu de nombreux perfectionnements dans le Cornwall où l'exploitation des mines de cuivre et d'étain est gênée par l'abondance des eaux; le prix assez élevé du combustible a d'ailleurs obligé les exploitants à opérer ces perfectionnements, non-seulement sous le point de vue mécanique, mais encore sous celui de la consommation. Les modifications principales que présente cette machine, comparée à la machine de Newcomen, sont : 1° l'emploi d'un condenseur isolé du cylindre; 2° l'application de la vapeur à haute pression, et d'une détente très-développée; 3° les détails mécaniques pour le règlement du régime de la machine. Jetons un coup d'œil rapide sur ces trois genres de perfectionnement; la planche 156 représente l'ensemble de la disposition adoptée pour des puits d'épuisement aux mines de Bruille (Nord) et de Blanzy (Saône-et-Loire), où j'ai eu occasion de faire monter de ces appareils[1].

Le condenseur est le même que celui des grandes machines; seulement, la machine étant à simple effet, il est muni d'une soupape qui limite l'injection d'eau froide au temps d'affluence de la vapeur. Ce condenseur doit être placé dans une bâche recevant une partie des eaux épuisées qui en refroidissent constamment les parois; et si les eaux de la mine sont trop impures pour servir à l'injection et à l'alimentation des chaudières, on fait arriver des eaux convenables par un tuyau isolé.

Les conditions de mouvement les plus avantageuses pour l'é-

[1] La première machine construite en France sur le type de Cornwall, en 1834, est due à M. Edwards. Depuis cette époque, il en a été établi à Rive-de-Gier, dans les mines de lignite de la Provence, à Blanzy, au Creuzot, et dans un grand nombre de mines du département du Nord.



Machine d'Épuisement, établie aux mines de Bruille.
Échelle $\frac{1}{100}$, force de 70 chevaux.

puisement sont : d'enlever la charge avec violence ; puis, le premier mouvement étant déterminé, de diminuer progressivement l'effort exercé, de sorte qu'il soit nul au bout de la course Ces conditions exigent que la vapeur à une pression élevée soit amenée subitement sur le piston par des orifices à grande section, et qu'on la laisse agir par détente aussitôt que, l'inertie étant vaincue, la colonne d'eau a reçu le mouvement ascensionnel et n'a plus besoin que d'un effort moindre pour continuer sa course.

Les soupapes ordinaires des grandes machines à vapeur exigent, pour être soulevées de leur siége, un effort considérable mesuré par la surface de leur cercle multipliée par la différence des pressions. La manœuvre de soupapes à grande section, nécessaires au jeu des machines d'épuisement, absorberait donc une force notable si, par un artifice des plus ingénieux, on n'avait diminué cet effort dans une très-grande proportion. Le siége fixe de la soupape est un cylindre ouvert latéralement et à sa partie inférieure, la partie supérieure est fermée ; la soupape mobile a la forme d'une cloche, ouverte au contraire dans sa partie supérieure et dont la surface cylindrique est fermée ; le contact, et par conséquent le joint des deux parties, se fait par deux zones annulaires, l'une à la partie supérieure, l'autre à la base. Il résulte de cette disposition, mise en évidence par les figures 156 et 157, que la pression à vaincre pour soulever la soupape est seulement égale à la surface réunie des deux zones annulaires multipliée par la différence des pressions ; la partie supérieure de la cloche étant évidée, la pression ne peut plus être exercée que sur l'espace compris entre la limite intérieure de la zone du haut, et la limite extérieure de la zone du bas ; de plus il suffit d'élever la cloche à une très-faible hauteur pour ouvrir à la vapeur une large issue.

La machine du Cornwall est gouvernée par trois de ces soupapes : la soupape *d'admission*, qui fait arriver la vapeur sur le piston ; la soupape *d'équilibre*, qui, lorsque le piston est au bas de sa course, met en communication la vapeur avec le dessous du piston (ces deux soupapes sont enfermées dans la même





boîte, figure 157), et permet à la maîtresse tige de retomber; enfin la soupape *d'exhaustion*, qui conduit cette vapeur au condenseur (figure 158).

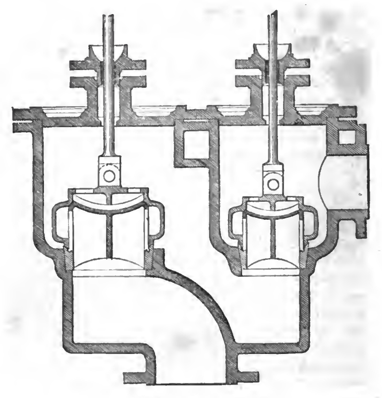


Fig. 157. *Soupapes d'admission et d'équilibre.*

Les deux premières soupapes, placées dans la même boîte, sont appliquées à la tubulure supérieure du cylindre; le bas de cette boîte est mis en communication par une colonne avec la boîte inférieure. Le dessin d'ensemble (figure 156) indique cette disposition assez pour faire comprendre le jeu de la machine. Il reste à signaler les principaux artifices mécaniques à l'aide desquels le mouvement est déterminé et réglé.

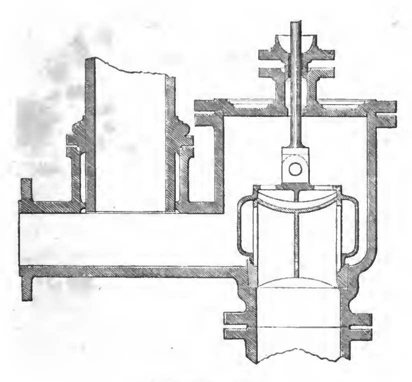


Fig. 158. *Soupape d'exhaustion.*

Les trois soupapes sont gouvernées par trois arbres horizontaux portant chacun : un encliquetage qui ferme la soupape, un contre-poids qui l'enlève lorsque l'encliquetage est levé, et une manette qui sert à raccrocher l'encliquetage et par conséquent à fermer la soupape. La fermeture se fait, comme d'habitude, au moyen d'une poutrelle ou tringle armée de taquets ; quant à l'ouverture, elle est déterminée par un appareil spécial nommé *cataracte*.

La cataracte est une petite pompe foulante placée au bas de la poutrelle qui, à chaque oscillation, lui fait aspirer, au moyen d'un levier, une quantité déterminée d'eau. Cette eau est ensuite chassée du corps de pompe par le poids du piston

aidé d'un poids additionnel placé à l'extrémité du levier ; l'orifice de sortie est réglé au moyen d'un robinet (fig. 159).

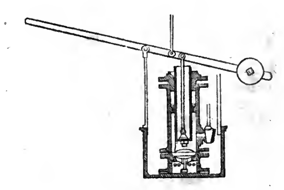


Fig. 159. *Cataracte.*

Le levier de la cataracte communique, au moyen d'une tringle et de leviers, avec les encliquetages ; il décroche les contre-poids, et ouvre les soupapes vers la fin de sa course, lorsque l'eau, aspirée par le mouvement ascensionnel du piston (mouvement déterminé par un taquet fixé sur la poutrelle), est expirée par l'action du contre-poids qui chasse l'eau par le robinet latéral. Ce mouvement, pris sur le levier de la cataracte, ouvre d'abord la soupape d'exhaustion ; la vapeur est condensée, et le piston, sans être entraîné, est déjà appelé par le vide qui se forme au-dessous de lui ; une ou deux secondes après, l'action de la cataracte ouvre la soupape d'admission de vapeur et détermine la descente du piston. La poutrelle, en descendant, raccroche les soupapes ouvertes par la cataracte et ouvre la soupape d'équilibre. Une nouvelle oscillation est ensuite déterminée par le jeu de la cataracte qui a de nouveau reçu de la poutrelle un mouvement d'aspiration ; l'ouverture de son robinet, en déterminant la vitesse d'expiration de l'eau, règle la vitesse de la machine.

L'ensemble de ces conditions constitue les machines les plus économiques et les plus régulières. Ainsi, l'on a obtenu par kilogramme de houille brûlée 125 et 150 dynamodes (1000 kil.

élevés à 1 m. de hauteur), tandis que les machines ordinaires à double effet, épuisant l'eau par des bennes, ne donnent pas plus de 40 dynamodes. Cet effet utile si remarquable, qui s'est élevé à 200 dynamodes et au delà, résulte non-seulement du système et de la construction de la machine, mais aussi de l'aptitude toute spéciale de ce système à l'élévation des eaux. Il faut d'ailleurs, pour atteindre les chiffres les plus élevés de l'effet utile, que la machine soit employée dans toute sa force et que l'appareil d'élévation des eaux soit dans les meilleures conditions d'établissement et d'entretien.

Les dimensions de la machine déjà citée étaient : pour le cylindre à vapeur, 1 m. 20 de diamètre et 2 m. 30 de course; pour la pompe à air, 1 m. de course et m. 0,620 de diamètre; pour les trois soupapes, les diamètres étaient de m. 0,180 à l'admission, m. 0,229 à l'équilibre, m. 0,267 à l'exhaustion. Cette machine, comptée pour 80 chevaux de force, a produit 125 et 140 dynamodes par kilog. de houille. Dans le Cornwall, on en a construit qui atteignent jusqu'à 300 chevaux de force et qui, travaillant dans les meilleures conditions d'effet utile, ont donné plus de 200 dynamodes. La machine qui donne le meilleur résultat est celle qui est placée Wheal-Vor en Cornwall; le cylindre a 2 m. de diamètre, 3 m. de course; son effet utile s'est élevé au chiffre de 307 dynamodes. Si l'on compare les chiffres de consommation de houille à ceux de l'effort des machines du Cornwall, on trouve que l'ensemble ne brûle que 1 k. 62 par heure et par force de cheval, et que, pour celles qui se trouvent dans les meilleures conditions, cette consommation est seulement de 1 kilog., c'est-à-dire quatre et cinq fois moindre que celles des meilleures machines à vapeur appliquées aux autres usages industriels.

Les riches mines de Cornwall ont été le point de départ de tous les perfectionnements apportés à l'épuisement dans les mines. En effet, comme les eaux sont abondantes, les mines profondes et le combustible coûteux, l'influence de ces conditions a fait de l'épuisement une profession distincte de celle de l'ex-

ploitation proprement dite, et les machines sont établies et entretenues par des ingénieurs spéciaux. Ces machines sont pourvues de compteurs fermés à clef, et lors des visites périodiques dont elles sont l'objet, on peut constater le nombre des coups de piston obtenus dans un temps donné; ce nombre. comparé au journal de l'entretien du système de pompes, donne le chiffre de l'effet utile produit par la quantité de houille dépensée.

Plusieurs de ces machines d'épuisement ont m. 2,25 de diamètre au cylindre à vapeur, et plus de 3 mètres de course. On voit par les relevés mensuels que, dans le district des mines, cinquante-neuf machines avaient extrait en trente jours de travail 3,153,600 mètres cubes d'eau; c'est-à-dire, en moyenne, plus de 72 mètres cubes par minute; travail énorme si l'on considère que les mines sont généralement à plus de 150 mètres de profondeur.

Le tableau ci-joint des conditions de marche des machines d'épuisement de Consolidated et United-Mines donne une idée de la forme adoptée pour ces relevés mensuels et résume tous les détails de la marche des machines. Dans les conditions ordinaires de cette marche, la pression de la vapeur dans les chaudières est maintenue entre 2 $\frac{1}{2}$ et 3 atmosphères; la détente commence au plus tard à $\frac{1}{4}$, et au plus tôt à $\frac{1}{8}$ de la course du piston [1].

Le travail indiqué par ce tableau est le résultat de la marche d'un mois (juin 1833); outre les dimensions des machines, il indique : la charge effective sur le piston moteur, le diamètre et la hauteur d'action des pompes, la consommation de houille, l'eau élevée dans un temps donné, enfin l'effet utile des machines rapporté à la quantité de houille consommée. Les machines de Consolidated et United-Mines sont d'ailleurs établies dans les meilleures conditions de construction et peuvent être choisies pour modèles.

[1] Ce tableau fait partie de ceux qui se trouvent dans le mémoire remarquable de M. Combes sur l'exploitation des mines du Cornwall et du Devon.

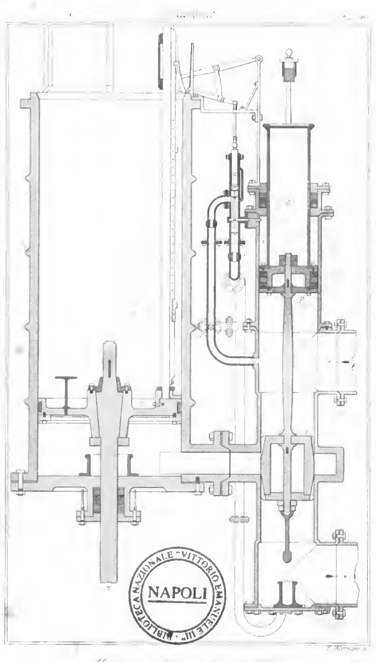
Machine de diamètre du cylindre en pouces anglais.	Charges par pouce carré du piston de la machine en livres avoir du poids.	Levée du piston en pieds anglais.	Nombre des colonnes de pompes.	Hauteur des colonnes en fathoms et pieds.	Diamètre des pistons des pompes en pouces anglais.	Con ommation de houille en bushels de 18 lbs.	Nombre total de levées.	Levées des pistons des pompes en pieds anglais.	Charges sur les pistons des pompes en livres avoir du poids.	Nombre de livres avoir du poids élevées à 1 pied de hauteur par bushel de houille.	Nombre de levées par minute.	Travail utile de la machine en dynamodes (1000 kilogram. élevés à 1 mètre de hauteur) par kilogramme de houille consommée.
Maria engine, 90 pouces.	9,28	10	1 4 3 1	7 0 94 4 92 4 45 0	12 16 10 8	2795	269,838	7,5	77568	54,081,824	5,64	196,3
Taylor's engines, 70 pouces.	13,60	10	6	118 5	17	3015	315,010	7,5	69752	54,568,153	6,66	198,1
Pearce's engine, 65 pouces.	14,70	9	1 8 1 1	1 2 199 2 25 3 4 1	11 11 1/8 11 7 1/2	1394	184,220	7,5	58540	58,021,370	4,0	210,6
Machine de Wolf, 90 pouces.	10,55	10	8 1 1	221 3 8 1 15 3	14 8 12	2640	231,010	7,5	89467	58,515,260	5,01	210,8
Machine de Bawden, 90 pouces.	8,90	10	6 1 1	159 1 23 0 11 2	13 13 12	•	337,290	7,5 6	59584 11288	»	7,3	»
Machine de Shear, 65 pouces.	12,50	9	5 1 1	136 0 12 0 3 2	13 11 10	1930	285,360	7,5	49981	55,424,060	6,18	201,0
Machine de Cardozo, 90 pouces.	10,97	9	1 3 3	23 1 74 5 74 5	10 1/2 16 15	3438	275,680	8	78544	50,385,130	5,97	182,9
Petite machine, 30 pouces.	13,60	9	1 1 1	6 5 27 4 32 3	12 13 8	780	439,470	7,5	11576	48,916,391	9,54	177,4
Western engine, 36 pouces.	15,89	7,75	1 1 1 1 1 2	21 1 21 1 21 1 10 3 11 0 21 0	11 10 9 1/4 8 1/2 6 6 1/2	596	196,640	8 4,5	19275 2109	41,287,966	4,27	149,9
Machine de Powning, 36 pouces.	5,57	8	1 1 1	21 3 11 0 8 3	10 1/4 9 1/2 8 1/4	306	235,770	6	7566	34,930,943	5,12	126,6

En étudiant les conditions de marche de ces machines, on trouve tous les éléments de construction dont on peut avoir besoin. Ainsi, on voit qu'en moyenne la charge effective sur le piston de la machine est généralement au-dessous d'une atmosphère; cette condition permet le développement de l'action de la détente; la course pouvant presque s'achever sous la simple action du condenseur, où la pression est de $\frac{2}{10}$ à $\frac{3}{10}$ d'atmosphère. On a donné généralement aux machines une course plus grande que celle des pompes; l'inégalité des bras du balancier qui résulte de cette disposition facilite encore le départ de la machine et l'usage de la détente. L'effet utile des machines est calculé d'après le volume des pompes, et non d'après le jaugeage direct de l'eau élevée; ce volume est donc un peu au-dessous des chiffres indiqués dans le tableau; mais ces chiffres représentent réellement l'effet de la machine, parce que la plus grande partie des pompes étant foulantes, n'agit que pendant la descente de la maîtresse tige, de telle sorte que la machine a toujours à enlever le même poids, que les pompes soient en bon ou en mauvais état. Aussi l'entretien de ces pompes est-il l'objet des plus grands soins.

Machines à colonne d'eau.

Toutes les fois qu'on a la faculté de faire entrer dans une mine des eaux dont le niveau est supérieur à celui des galeries d'écoulement, on peut créer ainsi un moteur pour épuiser les eaux des niveaux les plus bas. Ce moteur pourra être une roue hydraulique à laquelle on attachera des pompes; mais, lorsqu'il s'agit spécialement d'épuisement, la *machine à colonne d'eau* a sur tout autre moyen hydraulique une supériorité qu'on peut assimiler à la supériorité des machines du Cornwall sur les machines à vapeur ordinaires.

Les machines à colonne d'eau paraissent originaires de Bohême ou de Hongrie; c'est du moins dans les mines de ces deux contrées qu'elles ont d'abord atteint un mode de construction



Machine à Colonne d'eau d'Huelgoat

normal et pratique. On doit à M. Reichenbach, qui en a fait construire un grand nombre pour le service des salines de la Bavière, et à M. Junker, qui les a importées en France en créant le beau système d'épuisement d'Huelgoat, les perfectionnements qui ont élevé cette machine au premier rang parmi les applications de la mécanique.

Prenons pour type de description la machine dans sa plus grande perfection, celle d'Huelgoat. Cette machine est à simple effet; le principe sur lequel repose son fonctionnement est, en quelque sorte, le même que celui des machines du Cornwall, mais la transmission de la pression par l'eau a conduit à des détails de construction bien différents. Pour qu'il y ait lieu à établir une machine à colonne d'eau, il faut d'abord qu'on puisse rassembler des eaux dans une colonne de tuyaux d'une certaine hauteur, et leur donner une issue après avoir mis à profit la pression à laquelle cette eau est soumise à la base de la colonne; comme dans la machine à vapeur, le mode d'application consiste à appliquer cette force sur un piston qui enlève la charge, puis, supprimant la communication lorsque le cylindre est plein, à donner un écoulement aux eaux qui ont ainsi travaillé, en laissant retomber l'attirail des tiges par son excédant de poids.

Dans les machines établies à Huelgoat (fig. 160 et 161), le cylindre moteur, placé le couvercle en bas, reste ouvert par le haut; il porte à sa partie inférieure une tubulure qui est successivement mise en communication, au moyen d'un tuyau vertical, avec deux tuyaux, l'un conduisant à la base de la colonne d'eau, l'autre à la galerie d'écoulement, tous deux jouant par conséquent le rôle de tuyau d'arrivée et de sortie des eaux motrices. Il suffira évidemment, pour déterminer le jeu de la machine, de faire communiquer la tubulure du cylindre avec le tuyau d'arrivée; puis, le piston ayant été enlevé jusqu'en haut de sa course, de boucher cet orifice et de mettre le cylindre en communication avec le tuyau de sortie, de telle sorte que les eaux soient chassées par le poids du piston et des tiges, qui déterminent l'oscillation descendante.

Le fluide moteur étant l'eau, il a fallu établir ce jeu par des

orifices très-larges, qui eussent, par exemple, un diamètre moitié de celui du cylindre, sans cependant absorber une portion notable de la force de la machine; ce problème a été résolu par la disposition représentée dans la planche 160. Si, devant la tubulure d'entrée de l'eau motrice, on place, dans un tube vertical, deux pistons, p, p', réunis par une tige et fermant à la fois l'issue en dessous et en dessus de l'entrée, ce double piston pourra se trouver dans trois conditions d'équilibre.

Les deux pistons étant égaux, il y aura à peu près équilibre, ou du moins le poids de l'appareil tendrait seul à le faire descendre. Si les pistons ont des diamètres inégaux, la pression entraînera l'appareil dans le sens du piston le plus grand. Ainsi, si p' est plus grand que p, le piston régulateur montera, et l'orifice d'écoulement d'eau sera mis à découvert; si p est plus grand que p', l'appareil descendra et l'eau entrera dans le cylindre moteur. La question de mouvement de tout le système est donc ramenée à faire successivement p' plus grand que p, et p plus grand que p', et cela dans les proportions convenables pour que le mouvement soit doux sans être trop lent.

Pour établir ce jeu on a d'abord construit p' plus grand que p, et on l'a surmonté d'un manche p'', sortant au dehors de l'appareil, et de dimension telle qu'on eût p'' plus petit que p. Si donc on suppose que l'espace annulaire qui établit ces deux conditions entre les pistons supérieur et inférieur à l'entrée de l'eau, soit successivement isolé de la colonne d'eau motrice et mis en communication avec elle, le mouvement aura lieu. Par conséquent on ramène le mouvement de la machine à la manœuvre d'un robinet à trois eaux, qui serait disposé devant le petit conduit aboutissant à l'espace annulaire, et mettrait cet espace en communication tantôt avec l'eau de la colonne motrice, tantôt avec le tuyau d'émission. Ce robinet pourrait être manœuvré par une tringle à taquets placée sur le piston moteur P. On a substitué à ce robinet deux petits pistons, b et c, entre lesquels se trouve l'orifice du tuyau qui amène l'eau motrice; le piston inférieur c, étant disposé de telle sorte qu'il peut, par une course

0 1 2 3 4 5 mètres

Plan des deux Cylindres moteurs, suivant la ligne a,y,z.

E. Wormser sc.

Machines à Colonne d'eau d'Huelgoat

de 15 à 16 centimètres, mettre l'espace annulaire, z, en relation tantôt avec la colonne de pression, tantôt avec la colonne d'émission. Le piston *b* est surmonté d'un piston plein *a*, passant dans une boîte à cuir, qui laisse une petite zone annulaire en communication constante avec la colonne d'eau motrice au moyen d'un petit tuyau soudé [1]. L'ensemble des trois petits pistons ainsi équilibrés est très-facile à mouvoir; la course est déterminée par le système de leviers indiqué, et par la tige à taquets mobiles fixée sur le piston moteur.

On voit que, par cette série d'artifices mécaniques, le mouvement du piston moteur est d'abord ramené au mouvement des trois pistons régulateurs *p*, *p'*, *p''*, lequel mouvement est déterminé par l'injection et l'émission successives d'une petite quantité d'eau motrice dans l'espace annulaire z; cette injection est elle-même produite par le mouvement des trois petits pistons équilibrés, *a*, *b*, *c*, mouvement qui n'exige qu'une très-faible quantité de force empruntée au piston moteur.

Les robinets *r*, *r'*, permettent de régler le temps de l'injection et de l'émission dans l'espace annulaire de manière à régler la vitesse de la machine. On peut évidemment accélérer une des oscillations et diminuer l'autre, et rendre égaux ou inégaux les mouvements d'ascension et de descente du piston moteur, suivant que cela est plus ou moins avantageux pour le service des pompes. Les taquets sont mobiles de manière à permettre en outre de faire varier la course. Enfin le robinet *r''* sert à arrêter la machine ou à la mettre en train.

La pièce la plus importante, et dont l'exécution est assez difficile dans une pareille machine, est le système des trois pistons régulateurs. Ces trois pistons et les cylindres qui les reçoivent doivent être exactement dans le même axe, afin d'éviter les déperditions de force par suite du gauche que ne manquerait pas de donner la moindre excentricité. Pour éviter

[1] Cette force additionnelle est destinée à contre-balancer la pression exercée de bas en haut au-dessous du piston c, pression qui résulte de ce que tout l'appareil moteur d'Huelgoat a été placé à 14 mètres en contrebas de la galerie d'écoulement à cause de l'équilibre général.

le point mort, le piston inférieur qui bouche la tubulure du cylindre moteur n'a de partie cylindrique pleine que celle qui est nécessaire pour le recouvrement exact de cette tubulure. Le surplus du piston est cannelé, et les cannelures sont angulaires, ainsi que l'indique la coupe, de sorte que l'introduction de l'eau, ayant lieu par ces cannelures avant de se faire par l'orifice principal, la puissance motrice n'agit jamais d'une manière brusque sur les pistons, mais graduellement et sans déterminer aucun choc.

Quant à l'ensemble de l'appareil, les principaux détails de sa construction sont suffisamment indiqués par la fig. 161. La colonne de pression est C C C; la colonne d'émission D D D. Cette dernière est placée en contrebas de la galerie d'écoulement, parce que l'appareil des tiges étant plus lourd que la colonne d'eau élevée par les pompes dans le tuyau E E, on a évité par cette disposition tout contre-poids supplémentaire.

Deux cylindres moteurs ont été ainsi disposés l'un à côté de l'autre. Leur diamètre est de m. 1,05, leur course maximum de m. 2,30. La capacité du cylindre détermine la consommation d'eau motrice; elle est de m. 1,880. Quant à la consommation faite dans l'espace annulaire, elle n'est que de m. 0,033. Le nombre des oscillations est de 5 ½ par minute, ce qui exige une vitesse d'environ 2 mètres par seconde pour l'eau motrice dans la colonne de pression, qui a m. 0,38 de diamètre.

Il est évident que les machines à colonne d'eau peuvent être disposées pour une action à double effet. Les calculs qui peuvent servir à déterminer les diamètres des pistons des régulateurs et des tuyaux sont d'ailleurs encore plus simples que ceux des machines à vapeur; M. Junker a donné à cet égard les détails les plus intéressants et qui suffiront complétement à ceux qui auraient de semblables machines à établir. L'application de ces moteurs ne se borne pas d'ailleurs à l'épuisement des eaux dans les mines; on peut les employer pour l'extraction, l'aérage, etc.

L'application des machines à colonne d'eau aux salines situées au sud de la Bavière, à Reichenhall et Berchtesgaden, est une des plus hautes conceptions de l'art de l'ingé-

nieur. Ces salines fournissent des eaux chargées de sel qui ne peuvent être concentrées dans le pays où le combustible manque; M. de Reichenbach conçut et exécuta le projet d'envoyer ces eaux à travers une contrée montagneuse, sur quatre points avantageusement situés, entre la Salza et l'Inn, pour la fabrication et les débouchés. A cet effet, il dut élever les eaux salées à 1035 mètres de hauteur, en quatorze reprises; cette ascension fut effectuée par neuf machines à colonne d'eau et cinq roues à augets. La plus puissante de ces machines, celle d'Illsang, est mue par une chute d'eau de 100 mètres de hauteur, et élève d'un seul jet les eaux salées de 355 mètres. Enfin les eaux, ainsi élevées, parcourent environ 110,000 mètres de tuyaux pour arriver aux usines évaporatoires.

CHAPITRE TREIZIÈME.

PRÉPARATION MÉCANIQUE DES MINERAIS.

Toutes les substances minérales exploitées ne sont pas livrables au commerce aussitôt après leur extraction ; si la houille, le sel gemme, les roches n'ont besoin de subir que des préparations de triage, de classement et de mesurage, il n'en est pas de même de la plupart des substances métallifères qui, presque toutes, exigent une préparation mécanique avant d'être considérées comme minerais bons à fondre.

On se fera donc une bien fausse idée des minerais qui sont l'objet des exploitations, si on ne les étudie que dans les collections minéralogiques. On n'a en effet rassemblé dans ces collections que des échantillons exceptionnels qui, par leur richesse et la netteté de leurs caractères, ne peuvent servir à déterminer les minerais pratiques dans lesquels les caractères de la substance recherchée sont généralement masqués par la prédominance des gangues. L'ingénieur qui étudie les minerais doit donc ajouter à la connaissance des minéraux isolés, celle des distinctions de facies et de densité qui révèlent dans les roches la présence de principes métallifères. Il doit surtout, lorsqu'il organise des triages et des préparations mécaniques, s'habituer à reconnaître à l'œil la teneur des minerais, et communiquer cette habitude aux ouvriers.

Nous avons déjà dit qu'un minerai n'était considéré comme tel que lorsqu'il contenait une proportion de métaux d'une valeur égale aux dépenses de l'exploitation et du traitement; ainsi les teneurs obligées des minerais en roche seront plus fortes que celles des minerais d'alluvion. La valeur des métaux fabriqués est encore un élément de variation pour les titres ou lois des mi-

nerais. Ainsi, par exemple, dans le siècle dernier, le prix des plombs était tel qu'un très-grand nombre de filons de galène argentifère étaient exploités en France avec profit, tandis que la baisse provoquée par l'extension de la production espagnole a fait abandonner aujourd'hui la plupart de ces gîtes; les Romains ont exploité en Italie des minerais de cuivre dont la loi ne devait pas être la moitié de celle qui est aujourd'hui nécessaire. Cherchons donc à préciser quelles sont sous ce rapport les conditions actuelles des exploitations.

Parmi les métaux usuels, celui qui est le plus répandu dans toutes les roches est sans contredit le FER; c'est aussi celui qui a pu être exploité et fabriqué au plus bas prix. Dans ces conditions de substance commune et à bon marché, les minerais de fer doivent avoir relativement un titre plus élevé que les minerais de tout autre métal; aussi les roches ferrifères ne peuvent-elles recevoir la dénomination de minerais qu'à la teneur de 25 à 30 p. 100 de fer. Beaucoup de roches d'origine ignée ou sédimentaire, telles que les basaltes, les grès ferrugineux, contiennent 10 et 12 p. 100 de fer et ne sont pas des minerais. On a cependant donné quelquefois cette dénomination à des roches marneuses qui ne contiennent que 10 p. 100 d'hydroxyde en grains, mais ces hydroxydes sont faciles à extraire de la marne des minerais d'alluvion; toutefois la dénomination de minerai ne doit être appliquée qu'aux roches lavées et débourbées. Nous avons d'ailleurs donné assez de détails sur les minerais de fer dans le chapitre quatrième pour qu'il soit inutile d'y revenir.

Le PLOMB est, après le fer, le métal le plus répandu et celui dont les minerais doivent atteindre le titre le plus élevé. La seule combinaison plombifère qui entre d'une manière notable dans la production est la galène ou sulfure de plomb; en y joignant un peu de carbonate, on obtient la production totale. Toutes les galènes sont plus ou moins argentifères; pour qu'elles le soient d'une manière profitable, il faut que le titre de la galène dépasse $\frac{1}{2000}$. Lorsque les filons de galène sont d'un abattage facile, la teneur de $\frac{1}{20}$ de galène disséminé dans les gangues suffit à

l'exploitation; ainsi, dans une galerie d'un mètre de large, un filon bien continu de galène argentifère au titre de $\frac{1}{1000}$ n'ayant que 0,05 de puissance, serait exploitable; mais un titre plus élevé, $\frac{1}{10}$ par exemple, est nécessaire dans les roches résistantes. Il est vrai que dans ce cas les galènes sont ordinairement plus grenues et plus argentifères; il faudra donc établir ainsi la comparaison :

Par mètre cube :

Frais d'exploitation.	15 fr.	Schlicks obtenus.	200 kil.
Frais de préparation mécanique.	10		

Par quintal de schlick :

Frais de transport et de traitement de 100 kil. de schlick.	15 fr.	Recette. 60 kil. de plomb et litharge. 0,10 k. d'argent.

En sorte que (non compris les frais généraux) les dépenses seraient, dans cette hypothèse, de 27 fr. 50 par quintal de schlick obtenu, et les recettes d'environ 33 francs.

Les gîtes de galène sont représentés dans presque tous les districts métallifères, mais les gîtes en amas et stocwerks, situés dans des roches moins dures et en même temps plus riches, semblent devoir prendre une grande supériorité sur les gîtes en filons réguliers.

Le ZINC est un métal très-commun à l'état de sulfure, mais on n'a pas encore trouvé de procédés métallurgiques pratiques pour extraire le zinc de la blende; ce métal est donc exclusivement produit par la calamine. On donne ce nom de calamine à des mélanges de zinc oxydé, carbonaté et silicaté qui ont généralement pour gangues des oxydes de fer. Ces oxydes dominent quelquefois les caractères naturellement lithoïdes des calamines, de sorte qu'il faut beaucoup d'habitude pour reconnaître et apprécier les diverses qualités de ces minerais.

C'est en Silésie, en Belgique, dans la province de Liége et sur quelques points de l'Angleterre que se trouvent les gîtes de calamine. Le minerai est traité par distillation, et le traitement

consomme en houille 15 à 16 fois le poids du zinc obtenu. Il faut donc que le minerai soumis à ce traitement contienne au moins 20 p. 100 de zinc et qu'il ait été enrichi par un triage avant d'être livré. Dans ces conditions, la valeur des minerais est, en Silésie, de 3 fr. 10 le quintal au titre de 30 p. 100. Comparé aux frais d'abattage, ce prix permettrait d'exploiter des roches contenant $\frac{1}{10}$ de calamine, produisant $\frac{2}{30}$ de zinc, mais à la condition qu'il serait possible d'enrichir par le lavage les matières abattues, pour les amener au titre de 20 p. 100 exigé par le traitement métallurgique.

Les minerais de CUIVRE sont assez rares; après les gîtes du Cornwall et des monts Ourals, on ne peut citer que quelques exploitations dispersées dans les districts métallifères de la Suède, du pays de Mansfeld, de la Hongrie et de la Toscane. Les minerais ordinaires, qui consistent en cuivre pyriteux, ont été abandonnés au titre de $\frac{1}{10}$ à Saint-Bel; en Suède ils sont encore exploités à ce chiffre. Dans les filons du Cornwall, la teneur minimum des gangues quartzeuses, celle à laquelle on renonce à l'abattage, est $\frac{1}{40}$. Dans des gangues plus faciles, et surtout avec des minerais plus traitables, tels que les carbonates et les oxydes, on pourrait certainement suivre des minerais plus pauvres, quoique au Chili, à Cuba, etc., pays où l'industrie présente peu de ressources en main-d'œuvre et en combustible, ces mêmes minerais ne soient poursuivis qu'à des titres beaucoup plus élevés.

La plus grande partie des minerais de la Toscane, de Coquimbo au Chili et de l'île de Cuba, est transportée à Swansea, dans le pays de Galles, pour y subir le traitement métallurgique. Ce commerce de minerais peut fournir une base certaine pour l'appréciation de leur valeur. Ainsi, supposons que l'analyse ait indiqué dans un lot de minerai une teneur en cuivre de 9 p. 100; si le prix du cuivre est de 250 fr. le quintal, le quintal de minerai, pour 9 kilog. de cuivre, renfermera une valeur de fr. 22,50. Les frais de traitement dans le pays de Galles sont d'environ 7 fr. par quintal, reste donc environ 15 fr. de valeur pour compenser les frais d'exploi-

tation et de transport. Le fret étant toujours un élément connu, on peut calculer immédiatement dans une exploitation la valeur commerciale des minerais et la limite à laquelle l'extraction doit être arrêtée.

Tous les minerais ne fournissent pas un cuivre d'égale qualité. Les pyrites sont souvent mélangées, en Cornwall, de fer arsenical, de galène et de blende qui altèrent la qualité du produit. On a donc établi une distinction commerciale entre les cuivres purs et doux de Russie, et ceux du pays de Galles dans lesquels cette qualité de douceur n'est ordinairement obtenue que par un mélange de plomb.

L'ÉTAIN n'est exploité qu'à l'état d'oxyde; son traitement est donc facile, et le minerai peut être abattu à des titres inférieurs à ceux des métaux précédents. Cet oxyde a deux manières d'être bien distinctes : 1° en roches, c'est-à-dire disséminé dans des gangues dures qui constituent des filons ou des stocwerks; 2° en grains disséminés dans des alluvions. Dans les roches dures des filons de Cornwall et de Saxe on peut poursuivre des minerais à la teneur de $\frac{1}{80}$ d'étain, car non-seulement ce minerai a plus de valeur intrinsèque que celui du cuivre, parce qu'il est d'une réduction facile, mais la préparation mécanique en est facile, à cause de la grande pesanteur spécifique de l'oxyde d'étain; on peut aisément concentrer les schlicks à 50 et 60 p. 100.

En Cornwall le quintal d'étain obtenu consomme seulement 175 k. de houille, et le total des frais de traitement n'est que de 12 à 14 fr. Il reste donc encore au minerai une valeur de 130 fr. à la teneur de 60 p. 100.

Il y a une grande distinction à faire entre les mines d'étain en roche et les mines d'alluvion. Dans les premières, la pureté du minerai est toujours altérée par le mélange de pyrites et de fer arsenical; tandis que dans les autres, le minerai, parfaitement isolé, donne un produit de qualité supérieure. Cette distinction établit toujours une différence de prix entre les étains de Banca et les étains anglais. On n'exploite en effet dans la presqu'île de Banca et de Malacca, que des minerais d'alluvion, et l'on ne connaît

même pas les gîtes ou places d'où proviennent ces gîtes de transport.

Le MERCURE est encore plus restreint dans ses provenances que le cuivre ou l'étain; les gîtes de ce minerai sont tellement rares qu'il est assez difficile d'en calculer la limite inférieure. Les mines d'Almaden fournissent presque exclusivement le mercure au monde entier; le minerai sortant de la mine pour être traité ne contient, dit-on, jamais moins de $\frac{1}{10}$ de mercure.

Cependant, on exploite à Idria en Carniole, et près de Seravezza en Italie, des schistes bitumineux qui ne donnent que $\frac{1}{50}$ à $\frac{1}{100}$ de mercure; le traitement est si simple et le produit si recherché, que ces titres sont évidemment encore suffisants pour compenser les frais d'exploitation sur des roches qui sont rarement résistantes. Le seul minerai de mercure est le sulfure ou cinabre, qui imprègne les roches dans lesquelles on le trouve d'une manière si intime que toute préparation mécanique est réellement impossible. A Idria on perd 35 p. 100 de mercure en préparant le minerai. Il ne faut donc chercher à enrichir le minerai que par le triage.

Les minerais d'ARGENT sont le plus souvent des minerais complexes traités pour plusieurs métaux; telles sont du moins les mines de l'Europe; et, pour apprécier d'une manière convenable le titre nécessaire des minerais d'argent, il faut étudier les conditions des exploitations américaines. L'argent s'y trouve dans des filons puissants, à l'état natif et à l'état de sulfure, pur ou mélangé d'autres sulfures, quelquefois à l'état de chlorure; il a pour gangue : la chaux carbonatée, le quartz et la pyrite de fer. Cette pyrite, qui est souvent décomposée, a donné lieu à des hydroxydes qui contiennent souvent les minerais argentifères et en masquent complétement la richesse. Tels sont les minerais en pacos et colorados dont nous avons décrit le gisement dans le Pérou, le Chili et le Mexique.

Les mines de l'Amérique ne sont productives qu'en raison de la grande abondance des minerais. Les masses d'argent natif ne sont que des exceptions, et la richesse ordinaire des minerais est

comprise entre $\frac{1}{2000}$ et $\frac{1}{400}$. Cet argent contient presque toujours un peu d'or.

Les célèbres gîtes de la montagne de Potosi en Bolivie ne donnent plus que du minerai à $\frac{2}{5000}$, et c'est à peine s'ils fournissent encore des extractions notables.

Enfin on exploite à Bockstein dans le Saltzbourg, et à Zell en Tyrol, des mines d'argent aurifère qui contiennent $\frac{3}{1000000}$ d'argent et $\frac{1}{1000000}$ d'or ; c'est-à-dire qu'un mètre cube de minerai contiendra environ 37 fr. de l'un et l'autre métal. Il est probable qu'une pareille exploitation ne pourrait se soutenir aujourd'hui dans toute autre localité.

L'or ne se trouve qu'à l'état natif ; la valeur que peuvent avoir les minerais dépend donc uniquement de la proportion et de la nature des gangues. On peut répartir en quatre classes les divers minerais exploités au Brésil et dans les Cordillères :

1° L'or disséminé dans des gangues, généralement quartzeuses, dont il doit être extrait par triage, bocardage et lavage ; 2° l'or disséminé dans des pyrites de fer où il est absolument imperceptible et d'où il ne peut être extrait que par l'amalgamation ; 3° l'or disséminé dans des hydroxydes de fer provenant de la décomposition de ces mêmes pyrites ; 4° enfin l'or disséminé dans les alluvions.

Ce dernier gisement est celui qui fournit presque tout l'or consommé; nous avons signalé sa limite inférieure au titre de deux grammes d'or par tonne de sable, c'est-à-dire à $\frac{1}{500000}$, la moyenne des sables lavés en Russie contenant $\frac{1}{200000}$; quant au gisement direct, dans les roches quartzeuses et les pyrites ou oxydes de fer qui ont fourni l'or aux alluvions, les conditions en sont plus difficiles à apprécier.

Dans la première classe, celle où les roches quartzeuses doivent être abattues pour l'extraction directe de l'or, se placent les mines de Beresow en Sibérie, de Taquary et Gongo-Socco au Brésil. Ces mines n'ont réellement qu'une existence précaire par suite de l'incertitude de leurs produits; à une journée qui enrichit subitement l'exploitation, succèdent souvent des mois

entiers de travaux improductifs, et si l'on calcule ce que doit rendre en schlick d'or un mètre cube de quartz abattu, bocardé et lavé, pour constituer une opération en bénéfice, on trouve que la proportion de $\frac{1}{20000}$ est un minimum.

Bocardage des minerais.

Dans les mines métallifères, le travail n'est pas terminé à la sortie des matières extraites; puisque ces matières ne sont généralement pas assez riches pour être livrées au traitement métallurgique. C'est donc au mineur à enrichir encore son minerai jusqu'au degré convenable pour être traité, et ce travail supplémentaire constitue ce qu'on appelle la *préparation mécanique*.

Les minerais arrivent au jour en fragments irréguliers; la première opération qu'ils doivent subir est celle du *cassage* et du *triage*. Les fragments, brisés par des casseurs munis de masses pesant de 2 à 4 kilog., sont réduits en morceaux uniformes de la grosseur du poing ou même au-dessous, puis ils sont portés à d'autres casseurs qui, dirigés par des mineurs expérimentés, réduisent les fragments à la grosseur de noix au maximum, et séparent en trois tas : 1° la *gangue*, 2° la *mine à bocard*, 3° la *mine riche*.

Ce second cassage se fait, en Cornwall, avec des battes ou plaques de fonte pesant 3 kilog., adaptées à un manche d'environ un mètre de longueur,

La gangue est rejetée, la mine riche est directement livrée aux fonderies, et la mine à bocard va subir d'autres préparations. Le cassage produit encore une quantité notable de poussières qui doivent aussi être enrichies par le lavage.

La mine à bocard doit être traitée de manière à dégager de la gangue les veinules, grains, cristaux ou particules de minerai qui s'y trouvent disséminés; la première opération doit donc être de broyer cette mine par un procédé quelconque afin de pouvoir ensuite isoler les parties riches. Les procédés sont : 1° les bo-

30

cards à grille ou à auget; 2° les cylindres broyeurs; 3° les moulins à noix; 4° les meules verticales ou horizontales.

Les bocards (fig. 162) sont d'un usage très-répandu; ils consistent en flèches ou pilons, composés de pièces de bois armées d'un sabot en fonte; ces flèches rangées en ligne sont soulevées alternativement par les cames d'un arbre moteur et retombent ensuite sur le minerai soumis à leur action. Les éléments variables dans un bocard, sont : le *nombre* et le *poids* des *flèches*, leur *levée* et le *nombre* de ces levées.

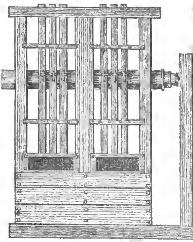


Fig. 162. *Bocard à grilles.*

En Cornwall, les flèches sont formées de madriers ayant m. 0,15 de largeur sur m. 0,12 d'épaisseur; avec leur sabot en fonte, elles pèsent de 140 à 160 kilog. Le sabot a, par exemple, m. 0,40 de hauteur, m. 0,18 dans le sens de la largeur du bocard, et m. 0,25 dans le sens de sa longueur, il est évidé de manière à recevoir la flèche qui s'y trouve serrée par des coins. Les flèches sont alignées par groupe de trois, et à Charlestown United-Mines, douze bocards, à trois flèches chacun, sont mis en mouvement par une machine de 40 chevaux. L'arbre moteur fait 10 tours par minute, et, comme il est pourvu de 5 cames devant chaque flèche, le nombre des levées est de 50 par minute; la hauteur de ces levées est de m. 0,20 à m. 0.25.

En Cornwall, où les minerais sont durs et en grande masse, et où les moteurs sont le plus souvent des machines à vapeur, les bocards ont été construits sur de larges proportions de manière à produire le plus grand effet utile; en Allemagne, où les moteurs sont exclusivement des cours d'eau, et où les mine-

rais sont souvent moins durs et moins abondants, on emploie des bocards dont les flèches ne pèsent que 50 à 80 kilog. : le nombre de leurs coups étant ordinairement réduit à 30 par minute. Entre ces deux limites de force et d'action des bocards du Cornwall et de ceux de la Saxe, il faut proportionner la force d'un bocard à l'effet à produire.

On bocarde en faisant entrer dans la caisse où agissent les pilons un courant d'eau qui entraîne les particules ou grains de minerais aussitôt que leur ténuité est assez complète pour que cette action puisse les enlever. C'est ce qu'on appelle le *bocard à auge;* l'aire sur laquelle frappent les pilons est inclinée de telle sorte que le minerai, entrant par une extrémité avec l'eau, passe successivement sous tous les pilons.

Dans le *bocard à grille,* la face antérieure opposée à celle de l'entrée de l'eau et du minerai est fermée par une grille à barres verticales; et aussitôt que le minerai est réduit en fragments assez fins pour passer entre les intervalles de la grille, il est entraîné par le courant d'eau. Enfin, on peut aussi bocarder à sec sur de fortes grilles en fonte placées horizontalement au-dessous des pilons; le minerai brisé étant chassé à travers les intervalles. Dans ce dernier cas, de simples tamisages permettent la séparation du minerai en diverses natures de grains, par sables fins, moyens et gros.

L'ensemble de l'opération du bocardage doit en effet avoit pour but, non-seulement l'écrasement du minerai et sa réduction en poudre d'une ténuité proportionnée à la plus ou moins grande finesse des particules de minerai disséminées dans les gangues; mais elle doit encore être dirigée de telle sorte que le minerai pulvérulent soit immédiatement classé suivant la grosseur des grains. Cette classification en sables de grosseur homogène, *gros sables*, *sables moyens* et *sables fins*, est indispensable pour la séparation des gangues et l'isolement du minerai : elle peut se faire dans tous les cas par des tamisages à sec; mais, lorsqu'on bocarde dans l'eau, il est plus avantageux de se servir de l'eau qui sort du bocard.

Si donc on a de l'eau, on ajoute au bocard un labyrinthe (fig. 163), série de canaux d'écoulement dans lesquels se fait le dépôt des grains et où commence même un premier enrichissement du minerai. Les matières sortant du bocard sont d'abord reçues dans un premier compartiment creusé d'environ 1 mètre et barré à son extrémité par des planches de m. 0,60 de hauteur. Dans ce premier compartiment restent les gros sables; les sables moyens continuent leur course dans les conduits formant labyrinthe jusqu'à un autre barrage qui ne laisse passer que les sables fins, et ceux-ci sont encore divisés en sables fins riches et sables fins pauvres ou schlamms, qui sont moins estimés.

Les mêmes résultats sont quelquefois atteints au moyen des cylindres broyeurs qui agissent sans l'intermédiaire de l'eau. Ainsi, à Bokstein dans le Tyrol, les minerais aurifères et argentifères, triés et concassés à grosseur de noix, arrivent au moyen de chariots au-dessus d'une trémie dans laquelle on les verse, et qui les distribue entre deux cylindres cannelés tournant l'un sur l'autre; là, ils sont broyés et tombent sur un tamis horizontal auquel est imprimé un mouvement alternatif, et qui ne laisse passer que le fin; ce fin s'accumule en un tas spécial, tandis que le gros est versé par le mouvement même du tamis entre deux cylindres lisses qui le broient de nouveau. Le produit de ces cylindres est ensuite divisé par un second tamis en sable fin et gros sable.

Ce genre de préparation mécanique est également usité en Cornwall, mais seulement pour les minerais déjà réduits en fragments assez fins. On emploie des cylindres creux de m. 0,35 à m. 0,45 de diamètre, ayant seulement m. 0,50 de table. Leur vitesse détermine en partie la quantité de minerai broyé; elle est de 10 à 15 tours et peut broyer 20 tonnes de minerai dur ou 40 tonnes de minerai tendre.

Les meules verticales appelées tordoirs et les moulins à meules horizontales sont souvent employés, dans l'Amérique méridionale, pour broyer les minerais aurifères et argentifères avant de les soumettre à l'amalgamation. Enfin les moulins à noix, qui ne

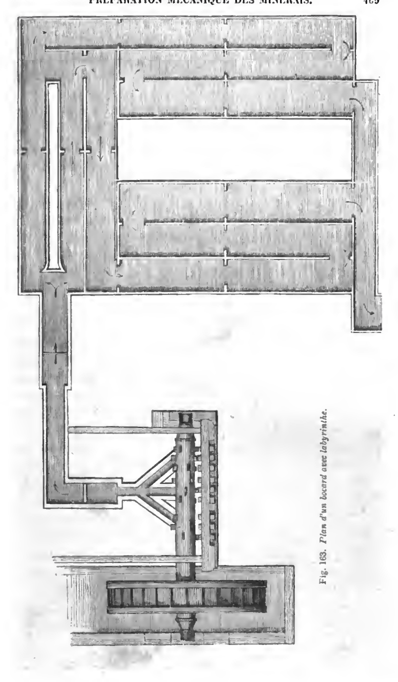


Fig. 163. *Plan d'un bocard avec labyrinthe.*

peuvent être appliqués qu'aux matières tendres, consistent en une noix conique et cannelée placée verticalement dans un vase dont la surface, également cannelée, est à une distance décroissante depuis l'entrée jusqu'à la sortie par la partie inférieure. La noix recevant un mouvement de rotation brise les fragments engagés dans la partie supérieure écartée, de m. 0,06 par exemple, jusqu'à ce qu'ils puissent sortir par la partie inférieure, où l'écartement n'est plus que de m. 0,01. Ces moulins seraient d'un emploi difficile pour les matières dures, parce qu'il pourrait en résulter des fractures fréquentes.

Les minerais étant convertis, par un procédé quelconque, en sables gros, moyens et fins, il reste à préparer ces divers sables de manière à isoler les parties riches des parties pauvres et à en extraire des sables riches de diverses grosseurs, désignés sous la dénomination de *schlicks*. A cet effet on emploie le *lavage* ou le *criblage*.

Criblage et lavage des minerais.

Lorsqu'on établit d'une méthode de bocardage, les détails de construction doivent être dirigés de manière à obtenir la plus grande proportion possible de gros sable; la séparation du minerai riche y étant plus facile que dans les sables fins. En effet, toutes les méthodes de lavage ou de criblage sont basées sur les différences de pesanteur spécifique; or, dans les sables fins, l'adhérence des grains avec l'eau et les gangues, adhérence résultant à la fois de la capillarité et de la forme irrégulière des grains, met un obstacle beaucoup plus grand à la séparation des diverses natures.

Le lavage le plus simple est le lavage à la sébile qui consiste à mettre dans une sébile remplie d'eau une portion du sable à laver, puis à imprimer des secousses à cette sébile ou à lui donner un mouvement giratoire en y agitant le sable; ainsi traitées, les parties les plus denses, et par conséquent les parties métallifères, gagnent le fond tandis que les parties les plus légères remontent à la surface et sont rejetées vers les bords. La cueillette de l'or

dans les sables du Rhône, de l'Ariége, etc., se faisait principalement par ce mode de lavage, aussi parfait que tout autre pour les résultats, mais dans lequel la proportion de la main-d'œuvre est trop considérable. On lui a substitué, pour les sables gros ou moyens, les *cribles*, les *tables à secousses*, ou des caisses que l'on appelle *caissons allemands*, et, pour les sables fins, les *tables dormantes*.

Le criblage est à la fois un moyen de séparer en plusieurs natures de grains les sables de grosseur mélangée, et d'isoler, dans les sables gros et moyens, les parties métallifères. Cette opération s'exécute au moyen d'un crible ou caisse dont le fond est formé d'une grille serrée, et qui plonge elle-même dans une cuve remplie d'eau. Une charge de minerai bocardé étant placée dans le crible, on lui imprime, soit directement à la main en la tenant par deux anses, soit au moyen d'un balancier avec contrepoids (fig. 164), un mouvement alternatif de haut en bas et de bas en haut. Les parties les plus fines passent d'abord à travers le crible et vont se déposer au fond de la cuve; quant aux gros sables, le mouvement de l'eau qui entre par le fond et monte dans le crible à chaque oscillation, soulève les grains d'autant plus facilement que leur densité est moindre; les plus légers montent donc à la surface, tandis que les plus denses gagnent le fond.

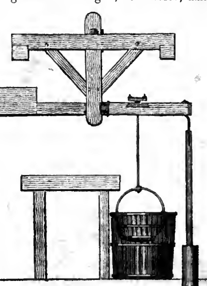


Fig. 164. *Criblage à la cuve.*

Si les grains sont composés de quartz, sulfate de baryte, pyrite et galène, ces matières finissent par se ranger en couches successives et par ordre de densité, savoir :

	Poids spécifique.
Quartz.	2,69
Sulfate de baryte.	4,40
Pyrite.	4,80
Galène.	7,50

Aussitôt que les couches en sont assez distinctes, l'ouvrier peut enlever successivement, à l'aide d'une spatule, les gangues pauvres qui viennent à la surface. Il concentre ainsi le minerai, et n'arrête la séparation qu'au point où elle n'est plus assez facile pour éviter les pertes. Avec une habitude qui s'acquiert assez facilement, un ouvrier arrivera ainsi à enrichir les schlicks au point convenable pour le traitement. Dans quelques ateliers on a trouvé de l'avantage à donner aux caisses de criblage une forme conique; l'eau entrant par la grille y prend en effet une vitesse décroissante qui peut faciliter les séparations.

Les gros sables peuvent également être lavés sur des *tables à secousses* ou dans des caisses fixes dites *caissons allemands*.

Les tables à secousses sont des tables en bois suspendues à quatre poteaux au moyen de chaînes. Deux de ces chaînes sont inclinées et appliquent la table, dans sa position normale, contre un heurtoir; de telle sorte qu'un arbre à cames étant disposé pour pousser cette table au moyen d'un système de leviers, elle revient d'elle-même frapper sur le heurtoir et secoue fortement les sables déposés à sa surface. Au sommet de la table est un tuyau ou chenal en bois recevant de l'eau, et un distributeur composé d'une aire triangulaire ou *chevet*, qui répartit uniformément cette eau sur toute la surface de la table. On peut à volonté amener sur la table de l'eau seule, ou de l'eau entraînant les sables, de telle sorte que la table, une fois réglée, s'alimente d'elle-même. Les sables étant ainsi que l'eau distribués d'une manière uniforme et continue sur la surface de la table, le mouvement de celle-ci n'empêche pas l'eau d'entraîner les parties légères et ténues, tandis que les parties métalliques plus denses restent sur la table et sont ramenées à chaque secousse vers le chevet.

Les tables à secousses (fig. 165) ont ordinairement 3 à 4 mètres de longueur et 1,30 de largeur. Les éléments variables y sont : l'*inclinaison* de la table, qui est de $\frac{1}{20}$ à $\frac{1}{25}$; son *avancement*,

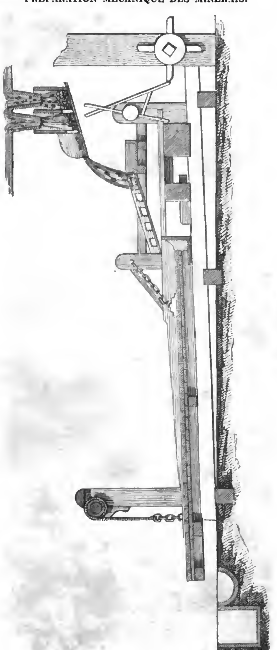


Fig. 165 *Table à secousses.*

c'est-à-dire la quantité dont elle est poussée à chaque oscillation, qui est en moyenne de 0,20 ; sa *tension*, c'est-à-dire l'inclinaison des chaînes ramenant la table à sa première position, qui détermine l'intensité du choc ; enfin le *nombre de ces chocs*, qui est de 30 par minute.

Quant à la quantité d'eau dépensée et à la quantité de minerai lavé dans un temps donné, cela est tellement subordonné à la nature du minerai à traiter, à sa richesse première, qu'on ne peut rien fixer à cet égard.

Le caisson allemand, fig. 166, est une caisse rectangulaire dont



Fig. 166. *Caisson allemand.*

les dimensions ordinaires sont : 3 mètres de longueur, 0,50 à 1 mètre de largeur, et 0,40 à 0,90 de profondeur. L'inclinaison est variable suivant la nature du minerai à laver ; elle est quelquefois nulle. L'extrémité de ces caisses est fermée par une cloison percée à diverses hauteurs d'orifices longitudinaux. L'eau, arrivant par un conduit à la partie supérieure de la caisse, peut être écoulée à des niveaux plus ou moins élevés ; le minerai est placé sur une aire au-dessus de l'arrivée de l'eau. L'ouvrier, après avoir fait tomber dans la caisse pleine d'eau une certaine quantité du minerai à laver, l'agite avec un rable de manière à faire descendre les parties denses vers le fond ; puis il débouche le niveau supérieur situé, par exemple, à 0,30 de hauteur, et, pendant qu'il ne cesse d'agiter la masse, l'eau enlève les parties les moins denses. Bientôt il débouche un second niveau à m. 0,20 de hauteur, et les parties d'une densité moyenne qui avaient résisté jusque-là sont entraînées ; enfin, lorsque le dernier niveau, situé,

par exemple, à 0,10 de hauteur, est débouché, le bon schlick commence à s'isoler.

L'eau sortant des caissons est recueillie dans un labyrinthe en tête duquel se déposent les parties les plus denses, de sorte que l'ouvrier recueille à la fois du bon schlick dans la caisse et en tête du labyrinthe.

Des caisses analogues, mais plus courtes et plus larges, divisées en plusieurs compartiments, sont souvent employées en Angleterre pour le débourbage des minerais, fig. 167. L'eau, en-

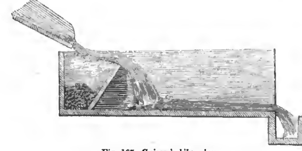


Fig. 167. *Caisse à débourber.*

traînant le minerai d'un compartiment dans l'autre, commence dans le premier, une séparation de grain et de densité qui se complète dans le second. Quelquefois aussi ces caisses sont étagées les unes au-dessus des autres et forment des espèces de cascades où le minerai est arrêté à la fois par des systèmes de cloisons ou de grilles. Beaucoup de combinaisons peuvent être employées pour cette méthode de lavage, dont le principe est toujours : que les matières les plus denses et les plus riches restent dans la caisse, tandis que les parties de richesse et de densité moyennes, entraînées par l'eau, se déposent avant les parties stériles et légères. L'important est de n'agir que sur des grains de grosseur à peu près uniforme ; sans quoi, la densité étant compensée par la grosseur des grains, il résulterait des mélanges, et les gros sables de quartz, par exemple, se dépose-

raient en même temps que les sables métalliques mais de grosseur moyenne.

Les sables fins sont lavés sur des tables fixes et peu inclinées dites *tables dormantes*, ou *tables jumelles*, parce qu'on les accole ordinairement deux à deux. Ces tables, fig. 168, ont 4

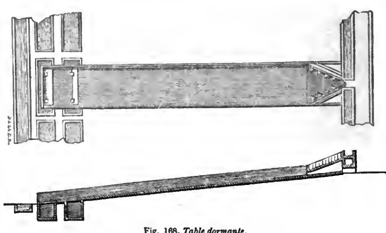


Fig. 168. *Table dormante.*

à 5 mètres de longueur, 1 mètre 50 à 1 mètre 80 de largeur et 0,12 à 0,15 d'inclinaison; elles ne sont fermées latéralement que par un rebord de quelques centimètres. Au chevet de la table est placé un distributeur d'eau qui l'étend sur toute la surface; le minerai en sable fin est amené avec l'eau ou bien étendu directement sur la table par l'ouvrier. L'eau entraîne les parties les plus légères, tandis que les parties plus métalliques, arrêtées au besoin par une petite baguette transversale faisant une saillie de 3 ou 4 centimètres, sont ramenées vers le chevet au moyen d'un rable pour descendre de nouveau en se dégageant toujours des parties terreuses. Le travail de l'ouvrier consiste donc à ramener toujours les sables vers le chevet jusqu'à ce qu'il les juge assez concentrés; à ce point une première ouverture transversale est dégagée et le minerai tombe dans une caisse placée sous la table; le sable étant enrichi de nouveau, on bouche

cette ouverture pour en dégager une autre plus avancée dans laquel'e le dernier minerai est entraîné. On fait ainsi la séparation du schlick riche, du schlick pauvre et des schlamms. Les schlamms sont recueillis dans un labyrinthe, en tête duquel on les reprend encore pour les laver de nouveau s'il en est besoin.

En Saxe, on s'est servi de toiles étendues sur les tables dormantes pour faciliter l'isolement des particules métallifères. Ces particules, ayant en effet des aspérités et des arêtes plus tranchantes que les gangues, sont arrêtées plus facilement sur la toile qu'on enlève et qu'on lave à chaque opération.

Lorsqu'on se propose de laver des sables aurifères, les procédés sont un peu différents, parce qu'il ne s'agit plus que d'obtenir, sans les bocarder, des matières déjà isolées en petites particules dans le mélange. Deux conditions peuvent se présenter : ou les sables sont argileux et ferrugineux, de telle sorte qu'il ne puisse y avoir séparation qu'après une désagrégation préalable de la masse et son débourbage; ou bien ils consistent uniquement en sables et cailloux roulés de diverses grosseurs. Dans le premier cas, toute la masse est soumise à l'action du lavage et, comme la matiere ne peut être transportée avant un premier travail de concentration, ces premiers lavages se font nécessairement sur les lieux mêmes; dans le second cas, on prépare les sables par un criblage qui sépare tous les cailloux et livre un sable fin dans lequel toutes les paillettes d'or se trouvent concentrées. Les lavages se font ensuite dans des ateliers particuliers, ou sur les lieux mêmes, soit au moyen de caisses et de tables analogues à celles déjà décrites, soit avec des appareils spéciaux dont le but est toujours d'agiter une certaine charge de sable dans des caisses ou tonnes pleines d'eau, de rejeter la partie supérieure, et de recueillir, pour les travailler de nouveau, les sables du fond où l'or est concentré. Quelques-unes de ces machines se composent de caisses dans lesquelles des rables sont agités, de tonnes traversées par un axe portant des agitateurs; dans plusieurs cas, on imprime même à l'appareil chargé un mouvement de rotation qui utilise la force centrifuge pour activer le départ des matières.

Dans les lavages des sables aurifères de l'Oural et de l'Altaï, on traite des alluvions qui contiennent de 2 à 8 grammes d'or par tonne de 1000 kilog.; la moyenne est de 4; et au-dessous de 2 grammes on ne traite plus ces sables. Un ouvrier, travaillant au moyen de caisses et de tables, peut concentrer de une tonne à une tonne et demie jusqu'à $\frac{1}{16}$ du poids; aidé par une force motrice et travaillant aux appareils mécaniques, il produira le double. Les sables rejetés contiennent encore 5 milligrammes d'or par tonne.

Les schlicks aurifères, ainsi composés de $\frac{1}{16}$ de la masse première, sont livrés à d'autres ouvriers qui les lavent avec soin, soit sur tables, soit à l'aide de sébiles; si les sables contiennent trop de parties métalliques difficiles à isoler de l'or, et dont le lavage entraînerait une perte notable au delà d'un certain degré de concentration, les schlicks sont traités par l'amalgamation.

La plupart des lavages exploités en Amérique (ceux du Brésil exceptés) ne le sont pas d'une manière régulière. Ainsi que dans l'Oural, les alluvions aurifères sont disposées au pied des Andes-Cordillères par bancs circonscrits et locaux. Aussitôt qu'un de ces gîtes, appelés bonanza, a été découvert, une multitude d'Indiens et d'ouvriers de toute classe viennent s'établir sur ce point pour se livrer à la recherche de l'or. L'eau étant quelquefois très-rare, les sables sont criblés dans des cuves, puis simplement passés dans des tamis en soie dont la surface retient les paillettes d'or.

Conditions économiques de la préparation des minerais.

Le lavage des minerais, lorsqu'on est arrivé à un certain degré de concentration, cesse d'être avantageux, c'est-à-dire que les dépenses de lavage et surtout les pertes croissantes de minerai entraîné avec les gangues, deviennent aussi coûteuses ou plus coûteuses même que ne le serait le traitement métallurgique ou le transport à un marché de minerai. Ces proportions toutefois ne peuvent être déterminées que d'après des circon-

stances locales tenant à la fois de la nature du minerai, des frais de préparation et du prix du métal. C'est ainsi qu'en Cornwall on ne pousse pas la richesse des schlicks de cuivre au delà de 8 p. 100. Dans une contrée où le traitement métallurgique serait plus coûteux, on devrait pousser la concentration plus loin. A Pontgibaud, M. Fournet avait reconnu que la préparation mécanique des galènes argentifères ne devait pas dépasser le titre de 30 à 40 p. 100 de galène dans les schlicks.

Les dépenses de préparation mécanique avec moteur hydraulique peuvent être évaluées, dans les conditions les plus ordinaires, de 7 à 10 fr. par mètre cube de minerai en morceaux tel qu'il sort de l'opération du cassage et du triage.

Les frais sont naturellement très-variables suivant la richesse des minerais, la nature des gangues et le degré de richesse auquel on pousse les schlicks; ils consistent d'ailleurs, pour la majeure partie, en frais généraux d'établissement, d'entretien du moteur et du matériel, car les dépenses immédiates sont toujours très-faibles. Pour la plupart des minerais tenant galène ou oxyde d'étain soumis à la préparation mécanique, cette dépense immédiate est à peine de 2 à 3 fr. le mètre cube.

Pour fixer les idées d'une manière plus précise, nous prendrons pour exemple les minerais d'étain de la Saxe, sur lesquels M. Manès a rapporté des documents très-précis et très-étendus. Dans ces minerais pauvres l'oxyde d'étain est finement disséminé dans des gangues dures qu'on est obligé de bocarder fin, et qui ne fournissent que $\frac{1}{100}$ de schlick contenant 50 p. 100 d'étain.

Ces proportions sont très-bien établies par le tableau suivant du prix de revient de l'étain provenant des minerais de Geyer.

Mètres cubes de minerai.	7,54
Schlick retiré.	100 kil.
Frais d'extraction.	148,30 fr.
Transport et préparation mécanique.	114,20
Fondage.	2,80
Total des frais par quintal d'étain.	264,70

Les frais de préparation mécanique peuvent seuls déterminer à abattre tel ou tel massif de minerai dont on peut estimer approximativement la teneur d'après son apparence. On a donc cherché à diminuer autant que possible ces frais, et, à cet effet, on a comparé avec le plus grand soin les deux méthodes de lavage par les tables à secousse et par les tables dormantes recouvertes de toiles. Ces deux méthodes ont été l'objet d'expériences spéciales faites dans deux usines d'Altenberg; les résultats en ont été consignés dans les tableaux suivants :

MINERAI passé au bocard.	HEURES de bocardage.	NOMBRE de flèches.	FRAIS DIRECTS DE BOCARDAGE	
			en totalité.	par tonne.
1232 tonnes.	3192	24	228	0,185
1207 »	3192	24	251	0,207

Ces mêmes quantités, soumises aux deux procédés de lavage, ont donné les résultats suivants :

MAIN-D'ŒUVRE.	HEURES de lavage.	SCHLICK OBTENU		FRAIS DE LAVAGE.		
		en totalité.	par tonne.	en totalité.	par tonne de minerai.	par tonne de schlick.
3 ouvriers, à 2 tables à secousses	2142	7497 kil.	6,83 kil.	888	0,720	118,40
8 ouvriers, à 2 tables dormantes à toiles.	2706	6881 »	5,69 »	988	0,818	143,70

Il est résulté de ces essais comparatifs qu'aux tables à secousses le travail se fait plus vite dans le rapport de 5 à 6, que sur ces mêmes tables les frais de préparation sont moindres dans le rapport de 10 à 16, enfin que le schlick obtenu sur les toiles est plus pur dans la proportion de $\frac{1}{20}$.

Dans les vallées d'Eybenstock dans l'Erzgebirge, on exploite par lavage des alluvions formées des roches granitiques et schisteuses de la chaîne parmi lesquelles se trouvent des galets riches

en oxyde d'étain et des grains du même minerai disséminés dans les sables fins. On y a établi des seyffenverk ou ateliers de lavage, et l'un d'eux, d'après M. Manès, était, pour la production de l'étain, dans les conditions suivantes :

Frais de main-d'œuvre des ouvriers laveurs.	1825 fr.
Surveillance des maîtres laveurs.	640
Triage du galet et transports au bocard.	299
Frais de préparation mécanique pour le bocardage et le lavage des galets.	325
Frais des consommations en bois, fer, outils.	429
Frais de fonte des schlicks obtenus.	414
Frais généraux.	1345
	5177

Le produit de cette dépense fut de 1,951 kilog. d'étain, dont le prix de revient fut ainsi de 2 f. 72 le kilog.; prix qui ne laissait alors aucun bénéfice à l'exploitation et la constituerait maintenant en perte.

Les préparations mécaniques faites sur les minerais pour les enrichir n'ont pas seulement pour but de diminuer les frais du traitement métallurgique, mais sont souvent aussi déterminées par la question des transports. Ainsi, comme il est peu de filons qui puissent suffire à alimenter une fonderie, il en résulte que, dans les exploitations isolées, on construit une fonderie qui ne peut marcher que pendant quelques mois de l'année, et qui, pendant les temps de chômage, grève l'entreprise de frais inutiles, en intérêts d'argent et en personnel. Comme d'ailleurs la construction et l'organisation d'une fonderie sont toujours très-dispendieuses, beaucoup de petites exploitations, qui ne peuvent supporter cette charge, se trouvent dans des conditions de développement très-chanceuses, si ce n'est impossibles.

Dans les districts métallifères où il existe un grand nombre de gîtes disséminés on a construit des fonderies centrales qui reçoivent les minerais de tous, et qui, pouvant être alimentées toute l'année, travaillent avec une réduction considérable de frais. Ces fonderies centrales favorisent en outre l'exploitation des plus petits gîtes métallifères, puisqu'elles peuvent mettre en valeur jusqu'aux plus petits lots de minerais.

La préparation mécanique a donc donné aux minerais une valeur commerciale. Dans le Cornwall, la Saxe et le Hartz, les schlicks à vendre sur les haldes des mines, sont annoncés dans les journaux; les acheteurs arrivent à un jour déterminé et trouvent ces schlicks en tas réguliers et cubés. Les tas sont ouverts dans le milieu et retournés dans leurs diverses parties pour former une moyenne; cette moyenne est pilée, tamisée, et des échantillons en sont mis dans des sacs cachetés. Les essais sont alors faits, sur ces échantillons, par chaque partie intéressée : le vendeur, l'acheteur, et le maître mineur, qui doit percevoir une prime proportionnée à la richesse. On déduit d'abord l'humidité du schlick pour avoir le poids réel, puis on en dose le métal; en cas de dissentiment, un des échantillons est mis en réserve ou analysé par un tiers. Les parties étant d'accord sur le titre, les acheteurs déposent leurs propositions écrites, et pour cela font le calcul suivant :

En supposant qu'on ait opéré sur du minerai de cuivre, et que le prix régulateur du cuivre (standard) soit en ce moment 2,550 fr. la tonne; si le minerai a été trouvé au titre de 8 p. 100, il contiendra 80 kilog. par tonne, c'est-à-dire 212 fr. de valeur. Les charges du minerai sont connues d'une manière fixe dans chaque pays (ces charges comprennent les frais de transports, les frais de combustible et de main-d'œuvre, et les frais généraux du traitement, comptés par tonne de minerai); ainsi, dans le Cornwall, elles sont, pour le minerai de cuivre, fixées à 69 fr. 50 par tonne. Le prix du minerai à 8 p. 100 serait par conséquent d'environ 152 fr. Il reste ensuite à apprécier la nature des gangues et celle des substances nuisibles, telles que la blende et le mispickel qui peuvent se trouver dans le minerai et en diminuer la valeur.

CHAPITRE QUATORZIÈME.

CONDITIONS GÉNÉRALES DU TRAVAIL DES MINES.

Il n'est pas d'industrie où l'aptitude des ouvriers et l'organisation du travail aient une influence aussi prononcée que dans l'exploitation des mines. Ces travaux, si simples lorsqu'on les voit en activité, exigent la réunion de tant d'efforts et de capacités si diverses qu'avec les meilleurs éléments il faut encore beaucoup de temps et de travail pour arriver à une organisation bien assise et fructueuse. Aussi voit-on dans les pays où l'art des mines est en vigueur, des gîtes à la fois peu riches et peu puissants donner des bénéfices, tandis que d'autres bien plus avantageux sous ces deux rapports peuvent à peine se soutenir dans les contrées où il n'existe pas d'ouvriers capables. Cependant les populations laborieuses se forment d'autant plus vite au travail des mines que ce travail n'est réellement pénible que dans les ateliers mal aérés ou gênés par les eaux.

La richesse minérale d'une contrée doit être pour les habitants une source de prospérité; c'est du moins ce qui est arrivé en France où nos houillères ont développé autour d'elles une activité profitable; c'est ce qui est arrivé en Cornwall, en Saxe, et partout où la production s'est établie sur des bases larges et normales. Et pourtant il est d'autres contrées où les mines ont été funestes aux populations parce que leur production, sortie des conditions normales, a été exagérée par des moyens factices. Les mines des Amériques, par exemple, ont été l'origine de la destruction presque complète des races indigènes condamnées par les Espagnols à une production exagérée [1].

[1] Les Indiens étaient enrôlés par une loi de conscription pour le travail des mines. La tâche imposée à chacun fut d'abord proportionnée à la force de l'homme; mais les mines s'é-

L'exploitation des mines fut la source d'abus qui n'ont pas encore disparu partout, et, dans quelques districts, la tâche à laquelle on a assujetti certaines parties de la population rappelle toutes les tyrannies de l'esclavage. L'enquête faite en Angleterre sur le travail des femmes et des enfants dans les mines est de nature à faire préférer les contrées privées des précieuses richesses du pays de Galles et du bassin de Newcastle[1].

Le premier devoir et le premier intérêt d'une compagnie d'exploitation est donc l'organisation du travail sur des bases qui donnent à la fois toutes garanties à l'ouvrier et à la compagnie. Cette organisation amènera des résultats d'autant plus efficaces qu'elle offrira aux ouvriers une association plus intimement liée au but et aux bénéfices de la compagnie. Tel est le principe de l'organisation du travail en Cornwall, en Allemagne, et même dans la plupart de nos mines, où le travail est rétribué suivant la valeur des matières extraites.

L'administration d'une mine doit toujours être basée sur une organisation simple :

Le directeur ou ingénieur de la mine détermine les travaux à exécuter, marque la position des puits ou galeries à entreprendre, en fixe les dimensions, et indique la marche que doivent suivre les mineurs. Sa présence est constamment nécessaire pour vérifier les directions qu'il a données, les travaux de boisage ou muraillement qu'il a prescrits, régler enfin les conditions générales des travaux du fond et de ceux de l'extérieur.

Les maîtres mineurs, servant d'intermédiaires entre la direc-

tendaient et s'approfondissaient sans que la tâche fût diminuée, et bientôt toute une famille suffit à peine pour obtenir le résultat exigé précédemment d'un seul de ses membres. Bientôt ces malheureux Indiens, exténués de fatigue, de coups et de privations, mouraient à la tâche. Les mines de Potosi, exploitées de cette manière, ont rendu plus de cinq milliards; livrées aujourd'hui au travail libre, leur produit est nul et se borne à l'exploitation des anciens déblais.

[1] Ce véritable esclavage peut sans doute amener une production à meilleur marché que le travail libre et raisonnablement rétribué, tel qu'il est établi dans nos exploitations; mais, quand on voit ce meilleur marché acheté par des conditions si onéreuses pour les populations, n'est-il pas de toute justice que les États qui ne veulent pas acheter le bon marché à ce prix, protégent leur propre industrie par un droit? Ce droit modéré pour les houilles n'est-il pas, en France, une garantie de moralité pour son travail d'exploitation, puisque, s'il était supprimé, il faudrait nécessairement que l'organisation économique et déplorable des houillères anglaises fût adoptée dans la plupart des nôtres!

tion et les ouvriers mineurs, placent ceux-ci à leur poste, leur assignent les tâches, mesurent leur travail, et surveillent les chargements et les transports, en ayant soin que chaque catégorie d'ouvriers se contrôle mutuellement. Ainsi les traîneurs prennent les matières abattues d'un chantier et marquent le nombre de petites bennes qu'ils ont traînées; les rouleurs convertissent ces bennes en charges de chiens ou de vagons; les receveurs à l'accrochage les réduisent en bennes d'extraction, posent sur chaque benne la marque du chantier qui a expédié, et les receveurs au jour notent les arrivages, ainsi que leur répartition entre les différents points d'abattage.

Reste à établir les conditions du travail dans les chantiers, de manière à faire la part de chaque ouvrier. Si le travail se fait à la journée, chaque chantier est sous la direction d'un caporal ou porion qui marque aux ouvriers la largeur de leur front d'abattage et l'avancement qu'ils doivent faire dans leur poste avant de remonter au jour. Le poste est ordinairement de huit heures de travail. Si le mineur a fini sa tâche avant l'expiration, il peut se retirer; s'il ne l'a pas terminée, il lui est fait sur son salaire une retenue proportionnée. Le plus souvent les mineurs travaillent à prix fait; pour établir ces prix, le contre-maître donne au directeur l'évaluation du travail à faire, celui-ci le contrôle, en définit les conditions et le met en adjudication. Les conditions de livraison sont réglées soit à l'avancement, soit à la recette des matières abattues.

Cette méthode d'adjudication prend une très-grande extension dans les pays où une exploitation active familiarise les mineurs avec les travaux. Les ouvriers se forment en compagnies, et, après avoir réglé les conditions de leur association, désignent un entrepreneur qui soumissionne le travail. Quelquefois les compagnies d'ouvriers se font non-seulement entrepreneurs des travaux d'abattage, mais aussi des transports. En Cornwall, elles soumissionnent même à la condition de rendre le minerai à un titre déterminé; de telle sorte que les ouvriers ne sont réglés définitivement que lorsque le minerai amené au jour a été trié et es-

timé. Dans les contrées où la population ouvrière n'est pas assez familiarisée avec les travaux pour courir des chances de cette nature, on fixe un minimum de journée que l'ouvrier devra recevoir si son prix fait a été malheureux : mais il faut combiner autant que possible le mode de travail de manière à constituer l'ouvrier en état d'association avec la mine; son bénéfice devant dépendre, non pas des chances commerciales, mais de la matière vendable rendue au point de chargement. On établit ainsi dans toutes les parties du travail une excitation de zèle et une solidarité d'intérêts qui ne peut que produire d'excellents résultats. Quelques exemples fixeront ultérieurement sur les divers modes de rétribution des mineurs.

Les ouvriers boiseurs, les mécaniciens, les chauffeurs, les ouvriers chargés de l'entretien des pompes, les ouvriers d'about pour les cuvelages restent le plus souvent en dehors de ce régime général, mais on a toujours la faculté de les y rattacher par quelque prime.

La sûreté des travaux est la première condition à remplir dans le choix des procédés et des méthodes. Quelle que soit l'attention d'une administration, elle ne peut sans doute préserver les mineurs de tous les sinistres; mais un règlement sévère, une stricte observation des plus minutieuses précautions réduiront extrêmement les chances d'accident.

Les accidents intérieurs résultent principalement des irruptions d'eau et des explosions du grisou; cette dernière cause est surtout la plus active. Les chutes de rochers, les écrasées ou éboulements qui sembleraient au premier abord devoir constituer l'élément principal du danger, n'entrent cependant que pour une bien moindre fraction dans la somme totale des sinistres. Ainsi, dans l'exploitation de la houille en France, la proportion des ouvriers tués ou blessés grièvement par le fait de l'exploitation a été de 1 sur 144 par année, tandis que dans les mines où l'extraction ne présente que des dangers résultant de l'abattage et du transport elle n'est en moyenne que de 1 sur 425.

Les accidents par inflammation du grisou sont graves surtout

par leur généralité; en Belgique, dans l'espace de seize ans, les procès-verbaux officiels ont constaté 984 accidents, ayant causé la mort de 1,246 mineurs, et en ayant blessé grièvement 556 : total, 1,802 ouvriers perdus; c'est donc une moyenne de 112 par année pour une extraction moyenne de 30 millions de quintaux métriques. Les plus violents accidents ont été le coup de grisou du 22 juin 1838, dans la houillère de l'Espérance près Seraing (pays de Liége), et celui du 8 avril 1839, dans la houillère d'Horloz à Saint-Nicolas; ils ont coûté la vie à 115 ouvriers et en ont blessé plus de 80.

Les accidents sont moins graves en France, parce que, les houillères y étant beaucoup plus disséminées, il y a moins d'ouvriers accumulés dans les mêmes chantiers. Le bassin de Saint-Étienne a eu 698 mineurs tués ou blessés dans l'espace de quinze ans, c'est-à-dire 45 par année; or il représente le tiers de la production houillère de la France. La totalité des ouvriers tués ou blessés en France n'est que de 90 à 100 par année pour une extraction égale à celle de la Belgique.

On n'a que des renseignements incomplets sur les accidents arrivés dans les houillères d'Angleterre; cependant une enquête faite à ce sujet en 1835 a constaté, pendant un trimestre, 41 ouvriers tués et 64 blessés par quatorze accidents dont le plus simple a été 1 blessé, et le plus grave 11 tués. Cette moyenne, qui indiquerait une perte de 420 personnes tuées ou grièvement blessées par année, paraît trop faible comparativement à ce qui s'est passé en Belgique et en France; mais il est à remarquer que, parmi les accidents de la courte période qui a servi de base au calcul, on ne comprend aucun de ces grands désastres tels que celui qui eut lieu peu après cette enquête à Walls-end-Colliery près de Newcastle, et qui fit périr 101 personnes.

Au milieu de ces éléments de destruction, les ouvriers mineurs n'ont pu échapper aux idées superstitieuses et sous ce rapport on retrouve dans les contrées les plus éloignées les unes des autres, telles que l'Allemagne et l'Angleterre, les mêmes croyances attribuant la plupart des accidents à des esprits qui, pour défendre

contre l'homme les trésors souterrains, lui opposent les eaux, les gaz, les éboulements, etc. Il résulte un mal réel de ces superstitions; elles autorisent l'insouciance déjà trop naturelle des mineurs, et leur négligence à prendre les précautions nécessaires. Les accidents se sont d'ailleurs multipliés avec l'extension des travaux souterrains, et, en voyant ces hommes exposés toute leur vie à des chances aussi terribles, il n'est pas de compagnie ni de gouvernement qui ne se soit ému et n'ait cherché d'abord à les prévenir par de sages prescriptions, puis à en adoucir l'effet. L'établissement des caisses de secours est un moyen généralement adopté. Un fonds créé par une retenue sur les salaires des ouvriers, des employés et sur les profits éventuels de la société, est distribué aux blessés, aux veuves et aux enfants de ceux qui succombent. Ce fonds est administré par un conseil présidé par l'administrateur, et dont font partie l'ingénieur, le caissier, et plusieurs maîtres mineurs délégués par les ouvriers; ce conseil règle le chiffre des pensions et le temps qu'elles doivent durer, suivant la nature des accidents et la position des individus frappés dans leurs moyens d'existence.

Calcul des prix de revient.

Les travaux souterrains ayant pour but constant d'obtenir au plus bas prix possible les matières exploitées, il sera toujours facile, d'après les données des chapitres précédents, de calculer ce que coûtent dans une mine le roulage, l'extraction, et l'épuisement des eaux; il y a dans les conditions de ces calculs une homogénéité qui laisse peu de latitude à l'erreur. Mais il n'en est pas de même de l'exploitation proprement dite; la résistance des matières abattues est un élément des plus variables; à chaque pas il faut calculer ce que coûte l'abattage, interroger la valeur des matières extraites, et décider s'il y a convenance à cesser ou à développer les travaux dans telle ou telle partie de la mine. La question complexe du prix de revient doit donc être constamment interrogée dans les mines métallifères.

Dans les exploitations qui ont pour base une matière homo-

gène, telle que la houille, il y a assez d'unité dans les prix d'abattage pour que la qualité de la substance et la forme sous laquelle elle se présente déterminent *à priori* le degré de convenance des travaux. Quelques exemples choisis dans les mines de houille fixeront donc d'une manière assez complète sur les dépenses de l'ensemble d'une exploitation.

Le principal élément du prix de revient de la houille est la puissance des couches.

Dans les exploitations du nord de la France, les couches sont peu puissantes et gisent à de grandes profondeurs. Deux couches, l'une de m. 0,50, l'autre de m. 0,40, inclinées de 75°, ont été exploitées par M. Dufrêne à 350 mètres de profondeur dans les conditions suivantes.

Les ouvrages sont à gradins renversés, les gradins ayant 16 mètres de front. Quatre ouvriers sont placés sur chaque front de 16 m.; ils ont par conséquent chacun un front de 4 mètres, que, dans leur poste, ils doivent avancer d'un mètre tout en boisant derrière eux; ces ouvriers reçoivent 1 fr. 50 pour ce poste; ils sont servis par deux enfants payés fr. 0, 75, qui leur apprêtent les bois et sortent la houille de la taille.

Les charbons sortis de la taille sont traînés dans des galeries reposant sur remblais, ménagées entre chaque gradin; elles ont 1 m. 20 sur 1 m. De ces galeries, les charbons sont jetés dans une cheminée qui débouche sur la voie du fond ou *voie en ferme*. Là ils sont pris par les rouleurs, qui les conduisent par chemin de fer jusqu'à l'accrochage. La voie en ferme a 1 m. 50 sur 1 m. 20. On paye aux traîneurs 1 franc 60 pour 360 hectolitres combles (de 108 k. chacun) transportés à 15 ou 18 mètres, suivant la difficulté; aux rouleurs ou herscheurs, 1 fr. 10 par 360 hectolitres transportés à 40 mètres.

Outre ces travailleurs, la mine entretient : 1° des ouvriers coupeurs de mur, qui font les galeries de traînage en suivant l'avancement des tailles, et sont payés à raison de 2 fr. le mètre; 2° des mineurs à la voie en ferme qui doit toujours dépasser la dernière taille; ces mineurs, après avoir enlevé la houille, abat-

tent le mur de manière à arriver à la dimension convenable ; ils reçoivent 5 fr. 50 par mètre et 10 fr. dans les crains où le terrain est plus dur ; 3° des remblayeurs qui, pour chaque taille, se composent de huit à dix enfants recevant de fr. 0,60 à fr. 0,75 chacun ; ces enfants enlèvent tous les déblais des galeries et les disposent entre les boisages, de manière à ne laisser qu'un mètre de vide pour les piqueurs ; 4° des boiseurs pour l'entretien des voies de roulage ; 5° des ouvriers d'about, pour l'entretien des pompes et des cuvelages, payés à raison de 1 fr. 60 par poste de six heures.

Le travail ainsi établi, les dépenses ont été calculées par une période de 15 mois d'exploitation sur les deux couches, période dans laquelle 27,425 mètres carrés de surface ont été exploités et ont produit 12,870 mètres cubes convertis en 153,350 hectolitres combles. Ces dépenses ont été réparties par hectolitre de 108 k., valant de 1 fr. 20 à 1 fr. 50, et chaque hectolitre a coûté :

Piqueurs à la veine.	0,0900
Traineurs et rouleurs.	0,0550
Coupeurs de mur et voies en ferme.	0,0790
Remblayeurs ou restableurs.	0,0750
Boiseurs et raccommodeurs.	0,0490
Ouvriers d'about.	0,0116
Ouvriers employés à l'extraction.	0,0510
Ouvriers employés à la machine d'épuisement.	0,0135
Maîtres mineurs et porions	0,0330
Frais divers.	0,0250
Total des frais d'exploitation par hectolitre.	0,4821

Pour cette exploitation on a consommé, soit dans les travaux du fond, soit dans les travaux du jour :

Perches pour le boisage.	0,1000
Éclairage, 0 k., 036 de chandelles.	0,0540
Pièces pour l'entretien des machines.	0,0620
Bois de chêne pour les cuvelages.	0,0240
Fer pour les chemins.	0,0170
Bois pour bennes et chariots.	0,0100
Cordes, étoupes.	0,0247
Briques, cuir, huile et divers.	0,0175
Pelles, clous, mannes d'osier.	0,0087
Charbon brûlé par la machine d'extraction.	0,0310
Charbon brûlé par la machine d'épuisement.	0,0420
Total des consommations par hectolitre.	0,3909

Il faut encore, pour compléter le prix de revient, ajouter à ces deux éléments de main d'œuvre et consommation les frais généraux de la mine, qui ont été :

Employés de la mine.	0,0240
Forgerons et ajusteurs.	0,0170
Charpentiers et menuisiers.	0,0250
Mesurage et chargement.	0,0250
Cordiers.	0,0120
Pensions aux ouvriers.	0,0140
Frais de bureau.	0,0300
Fers et divers.	0,0200
Impôts.	0,0130
Total des frais généraux par hectolitre.	0,1800

Ces trois éléments de dépense, étant additionnés, donnent pour total du prix de revient de l'hectolitre comble 1 fr. 053, prix qui représente à peu près les conditions les plus coûteuses des grandes exploitations de houille.

L'exploitation d'une couche de 1 m. 25 d'épaisseur, peu inclinée et sise à une faible profondeur, présentera des circonstances bien plus favorables ; on en jugera par l'exemple de la couche du Treuil près de Saint-Étienne, qui offre en outre un tout autre mode d'abattage et de rétribution : nous l'exposerons d'après les documents recueillis par M. Marrot.

La méthode est celle des galeries et piliers ; les galeries d'allongement ont 4 mètres de largeur et sont espacées de 16 mètres d'axe en axe. Les traverses ont même largeur et sont espacées de 25 mètres, de telle sorte que, si l'on suppose un massif de 100 mètres de côté, on l'aura découpé par 1000 mètres de galeries représentant 4,000 mètres de superficie ; il restera 6,000 mètres de surface en piliers.

Les charbons sont divisés suivant leur grosseur en *péra* (morceaux de 6 ou 8 à la benne), *chapelé* (gros morceaux) et *menu*. La benne, adoptée comme mesure, doit représenter 150 k. en péra, 120 en chapelé et 106 en menu. Comme il importe beaucoup d'obtenir le charbon en aussi gros fragments que possible, on a intéressé les ouvriers à cette proportion ; ainsi :

Deux mineurs, travaillant pendant un poste de 10 heures au

massif, c'est-à-dire en galerie de 4 mètres, avancent de m. 0,80, et abattent chacun deux mètres cubes de charbon qui fournissent 22 à 23 bennes. Au dépilage, un mineur est placé sur un front de 3 mètres et avance d'un mètre; il abat donc 4 mètres cubes qui fournissent 42 à 44 bennes. Le mineur reçoit :

Au massif.		Au dépilage.	
Par benne de péra.	fr. 0,25	Par benne de péra.	fr. 0,15
de chapelé.	0,20	de chapelé.	0,10
de menu.	0,10	de menu.	0,05

Or, dans ces deux conditions de travail, il obtient les proportions suivantes :

Au massif.			Au dépilage.		
Péra.	10	Sur 100 parties.	Péra.	8	Sur 100 parties.
Chapelé.	30		Chapelé.	30	
Menu.	60		Menu.	62	

De telle sorte qu'il gagne 3 fr. 20 par jour, sur lesquels il doit payer son huile, qui lui coûte 0,20; reste 3 fr. pour son poste de dix heures. En résumé, la houille abattue a coûté en moyenne au massif 0,145, et au dépilage 0,073 par benne de 125 k. tout venant. Ramenant ces chiffres à l'hectolitre comble, le prix sera de 0,115 au massif et de 0,058 au dépilage, soit pour la moyenne du massif de 100 mètres 0,0808 l'hectolitre.

Les transports se font par traînage des tailles à la galerie principale, et de là sur un chemin de fer de 300 à 400 mètres de longueur. Le traînage sur une longueur de 120 mètres se fait par 6 traîneurs à 3 fr. et 3 pousseurs à 1 fr., qui traînent 300 bennes; de sorte qu'il en coûte 0,070 par benne. Le roulage se fait sur 350 mètres par 5 receveurs à 3 fr. l'un, 10 rouleurs coûtant 27 fr. 50, 2 chevaux taxés à 3 fr. l'un, et un palefrenier à 2 fr.; ce service transporte 600 bennes qui reviennent à 0,074 l'une.

Pour assurer la solidité de l'exploitation, deux mineurs abattent le toit sur 0,30 à 0,40 d'épaisseur dans les galeries de 4 mètres; ils muraillent ensuite les côtés, et ces remblais reviennent à 1 fr le mètre cube. Sur 3 mètres cubes de houille enlevée en

massif, il faut 1 mètre cube de remblai. Au dépilage on dispose les remblais par pilier de 1 mètre de côté, et il ne faut en remblai que le cinquième de la houille enlevée Ce remblai revient en moyenne à fr. 0,020 par benne.

Le service de la mine se fait par deux puits dont les machines d'extraction suffisent à l'épuisement des eaux. Les consommations, la profondeur étant faible, sont d'ailleurs très-réduites et se bornent aux bois de soutènement lorsque le remblai manque, et à l'entretien des voies de transport et d'extraction. Pour une extraction annuelle de 250,000 bennes, soit 300,000 hectolitres combles, ces frais ont été ainsi qu'il suit.

		PAR BENNE.		PAR TONNE.	
		MASSIF.	DÉPILAGE.	MASSIF.	DÉPILAGE.
Frais d'exploitation immédiats dans l'intérieur de la mine.	Piquage et éclairage.	0,145	0,073	1,160	0,584
	Etaiement, remblais compris.	0,040	0,030	0,320	0,240
	Étais en bois.	0,013	0,013	0,104	0,104
	Total.	0,198	0,116	1,584	0,928
	Trainage.	1,074	0,074	0,592	0,592
	Total.	0,272	0,190	2,176	1,520
Extraction pour les puits.	Extraction et épuisement.	0,025	0,025	0,200	0,200
	Machines à vapeur	0,025	0,025	0.200	0,200
Frais divers.	Entretien des bennes	0,025	0,025	0,200	0,200
	Redevances	0,069	0,069	0,552	0,552
	Frais d'administration.	0,019	0,019	0,152	0,152
	Frais de vente.	0,020	0,020	0,160	0,160
	Loyers	0,008	0,008	0.064	0,064
	Entretien des chemins et bâtiments	0,005	0,005	0,040	0,040
	Frais généraux de diverse nature	0,009	0,009	0,072	0,072
	Total.	0,477	0,395	3,816	3,160

Ce prix de revient de 3 fr. 50 la tonne, prix qui ne comprend d'ailleurs aucun intérêt des capitaux versés, peut être regardé comme celui des meilleures conditions, et forme, par conséquent, avec l'exemple précédent des mines d'Aniche, les deux limites entre

lesquelles viennent se grouper les frais de la plupart des houillèrs. Dans les couches très-puissantes, on a pu faire descendre encore ces prix lorsque les rabattages permettent l'emploi de la poudre, comme à Blanzy; ou lorsque la houille est d'un abattage très-facile, comme dans les houilles grasses de Montchanin et de la Grand'Combe. Comparé à l'ensemble des mines de France, de Belgique ou d'Angleterre, ce chiffre est néanmoins un minimum qu'on est heureux d'atteindre.

Les veines les plus avantageuses des houillères du Nord, celles de Denain, puissantes de m. 0,70 à 0,80, peuvent produire la houille à 6 fr. 46 la tonne; les veines de Belgique, dans les puissanees de 1 m., la fournissent à 5 fr. 20; encore faut-il, pour atteindre ces prix, opérer sur des masses considérables; on peut donc calculer l'échelle des prix de revient de la houille sur les données suivantes, prises dans divers bassins.

	Couches de 0,50 et au-dessous au delà de 200 m. (Aniche.)	Couches de 0,70 à une profondeur de 200 m. (Denain.)	Couches de 1 m. à une profondeur de 200 m. (Mons.)	Couches au-dessus de 1,25 à moins de 100 m. charbon dur. (Saône-et-Loire.)	Couches au-dessus de m. 1,25 à moins de 100 m. charbon facile. (Saint-Étienne.)
Exploitation.	0,482	0,285	0,189	0,210	0,152
Consommations.	0,391	0,221	0,206	0,118	0,110
Frais généraux	0,180	0,140	0,125	0,074	0,096
Prix du quintal métrique.	1,053	0,646	0,520	0,402	0,358

Exploitation des minerais.

Dans les exploitations qui portent sur des roches dures, certaines dépenses prennent un accroissement considérable; notamment les consommations de fer, acier et poudre. Il devient en outre impossible de préciser à l'avance la tâche que doivent remplir les mineurs et les consommations qu'ils doivent faire. Pour éviter les pertes de temps et le gaspillage, il faut donc avoir recours au système des prix faits et des adjudications, en pre-

nant pour base quelques travaux faits à la journée par de bons mineurs. Un bon moyen d'arriver à fixer les prix faits, lorsqu'on a des ouvriers timides et peu expérimentés, est de les payer d'abord par décimètre de trou de mine percé sous la surveillance d'un maître mineur, et de calculer l'effet des coups de mine en pesant les roches abattues. Les roches métallifères sont assez généralement des roches dures dans lesquelles on percera m. 0,65 à 1,30 de trou de mine par poste de dix heures, lesquels détacheront 200 à 500 kilog. de roche. Les exemples de prix de revient abondent, mais ces exemples sont rarement comparables entre eux parce qu'ils dépendent non-seulement de la section des orifices, de la dureré, de la ténacité de la roche, mais encore des fissures qui s'y trouvent et d'une multitude de circonstances qu'on ne peut apprécier que sur les lieux.

C'est donc seulement après avoir éprouvé la roche par des essais qu'on pourra établir les bases d'un prix de revient; quelques exemples seront cependant utiles pour établir les proportions les plus ordinaires des diverses dépenses. A Saint-Bel, où l'on exploitait la pyrite de fer mélangée de pyrite cuivreuse, en veines dans des schistes durs, M. Hennezel a trouvé les moyennes suivantes sur plus de deux cents prix faits; ces moyennes se rapportent assez bien aux conditions des filons métallifères faciles et portent le prix du mètre cube à fr. 8,60 en galeries et à fr. 6,19 dans les tailles.

Chaque mineur brûle en moyenne kil. 0,19 de poudre, poids qui correspond à trois cartouches, dans des trous de mine de m. 0,40 à 0,50 de profondeur; sa consommation en huile est de kil. 0,125, et sa dépense en outils est de fr. 0,19 par jour; enfin le prix de la main-d'œuvre étant de fr. 1,60 à la journée, ressort à fr. 2,38 à prix fait. Dans ces conditions, le mineur abat en galeries de deux mètres de section m. cb. 0,310, et en tailles de m. 3,70 de section, m. cb. 5,30; soit m. 0,15 d'avancement dans le premier cas, m. 0,20 dans le second.

En prenant une moyenne dans neuf exploitations de Saxe, et portant la poudre au prix de France (fr. 2,10 le kilog.), on trouve que le mètre cube de travail en galerie ordinaire, de deux mètres

à deux mètres et demi de section, coûte, éclairage non compris :

En main-d'œuvre.	12,80	fr. 21,09.
En outils (forge et consommation).	3,94	
En poudre, kil. 2,07.	4,35	

Ce prix doit être augmenté d'environ un tiers pour la main-d'œuvre, qui est de fr. 0,90 en Saxe, tandis qu'en France elle descend rarement au-dessous de fr. 1,50. Soit fr. 25,30 le mètre cube, et 27 fr. y compris l'éclairage. Il reste à calculer les frais de roulage, d'extraction et d'épuisement, calcul facile en appliquant les bases précédemment fournies par les exploitations de houille.

Enfin les données numériques suivantes sur le prix d'abattage, en galerie ordinaire de deux mètres carrés à deux mètres et demi de section, des roches le plus souvent métallifères, compléteront cette connaissance préalable, qui a toujours besoin d'être justifiée par la pratique. Ces données sont établies pour la Saxe. Le prix du poste de mine étant fr. 0,90, celui de la poudre 1,70 le kilog., la réparation des outils étant comptée à fr. 0,33 soit pour reforger la pointe de 60 pointerolcs, soit pour reforger ou recharger 12 fleurets.

	MAIN-D'ŒUVRE.	POUDRE.	OUTILS réparés.	OUTILS consommés.	SOMME.
Quartz dur et tenace. . .	24,65	8,18	5,87	2,93	41,63
Gneiss dur.	20,55	6,84	5,70	2,85	35,94
Schiste argileux dur . . .	14,35	3,86	2,36	1,18	21,75
Calcaire cristallin.	12,70	1,38	1,40	0,70	16,58
Schiste argileux traitable.	9,83	2,28	1,28	0,64	14,03
Schiste argileux facile . .	7,38	1,46	1,01	0,50	10,35

Il ne faut appliquer ces notions qu'avec beaucoup de réserve, faire la part des différences qui peuvent exister dans les prix de journée, dans celui des consommations, et ne pas oublier que la Saxe est une des contrées où les mineurs ont le plus d'habileté et d'aptitude. Il faut surtout ne pas perdre de vue la section des orifices.

Des plans de mines.

Dans toute exploitation, un bon plan de mine est d'une grande utilité ; il est surtout indispensable quand les travaux souterrains sont très-développés. En effet, il est nécessaire de maintenir les travaux dans les limites de la concession afin d'éviter des contestations avec les concessions voisines, et il existe toujours quelques points dont il faut se tenir constamment éloigné, sous peine des plus grands dangers. Enfin, lorsqu'il s'agit de joindre un point fixé à l'avance par un puits ou par une galerie; si l'on n'a pas un plan fait avec précision, on s'expose à manquer le but et à faire en pure perte des travaux coûteux.

Le levé des plans dans les mines présente de grandes difficultés, les mines étant composées de vides sinueux et isolés les uns des autres dont on doit déterminer, isolément, la forme et la position en les rapportant à des plans d'ensemble conventionnels et qu'on puisse toujours retrouver. Ces difficultés sont encore accrues par la nécessité d'opérer dans des galeries obscures, souvent basses et d'un parcours difficile.

Pour orienter d'une manière certaine des travaux qui ne communiquent au jour que par des galeries sinueuses ou par des puits, il faut absolument avoir recours à la boussole. La boussole de mine se compose d'une aiguille aimantée teintée en bleu d'acier sur la pointe nord ; la position de cette aiguille, suspendue sur une chape d'agate, est déterminée par un limbe divisé en 360 degrés ; la division est de droite à gauche à partir du nord magnétique, de telle sorte que tous les angles plus petits que 180° sont à l'ouest et tous ceux plus grands que 180° sont à l'est.

En Allemagne on a divisé le limbe en 24 heures, ou plutôt en deux fois 12 heures, de telle sorte que, midi étant au nord, les douze divisions descendent de droite à gauche jusqu'au numéro 12 qui se retrouve au sud ; les divisions recommencent en montant à partir du sud pour rejoindre le 12 nord, et de cette manière les

deux extrémités de l'aiguille marquent toujours la même heure. Chaque heure, correspondant à 15°, est divisée en huit parties qui, elles-mêmes, sont subdivisibles en quatre.

La boussole de mine est suspendue au moyen de deux tourillons sur un support à crochets, la ligne N.-S. correspondant à l'axe de ce crochet. Si donc, après avoir fortement tendu un cordeau suivant l'axe de la galerie dont on veut prendre la direction, on suspend la boussole à ce cordeau, la déviation de l'aiguille, comparée à cette ligne N.-S., donnera la mesure de la direction. Afin de faciliter la lecture de cette direction, on transpose souvent les lettres E et O, de telle sorte qu'on peut lire le véritable point de la direction par la lettre la plus proche de la pointe bleue; cet artifice se comprend dès qu'on a la boussole en main.

Une ligne étant ainsi déterminée dans le plan horizontal, il reste à la fixer dans le plan vertical. Pour cela, on se sert d'un demi-cercle gradué, divisé en deux fois 90 degrés. Ce demi-cercle s'accroche sur le cordeau bien tendu, et le fil à plomb y marque l'inclinaison de la ligne; si le cordeau est trop long et fléchit, on doit déterminer l'inclinaison sur deux points également distants des points d'attache et prendre la moyenne entre les deux chiffres.

Le levé des plans doit être complété par les mesures de longueur; ces mesures se prennent au moyen d'une chaîne de laiton dont chaque maille est égale à m. 0,20.

Pour lever un plan de mine, on fait donc une série de stations successives dont on mesure la direction, l'inclinaison et la longueur. Si l'on suppose, par exemple, que ces stations suivent l'axe d'une galerie sinueuse, il suffira d'ajouter les largeurs prises perpendiculairement aux directions pour avoir tous les éléments du plan. Afin d'éviter toute chance d'inexactitude, on a un calepin d'observation où sont marqués : 1° le numéro de la station; 2° le point cardinal, c'est-à-dire le chiffre indiqué par la pointe bleue de l'aiguille, en confirmant ce chiffre par une des lettres cardinales; 3° l'inclinaison mesurée en degrés et minutes au moyen du demi-cercle gradué, en indiquant par M si l'inclinaison est mon-

tante, et par D si elle est descendante; 4° la longueur exactement chaînée entre les deux stations; 5° les largeurs et les remarques ou points de repère qui peuvent aider la mémoire.

Avec ces données, on peut faire le plan de deux manières : construire ou calculer les triangles de manière à obtenir les projections horizontale et verticale des travaux, ou bien rabattre le plan des travaux sur le plan horizontal ou vertical de manière à opérer sur le plan même de la couche ou du filon exploité. Pour reporter les directions sur le plan, on se sert d'un rapporteur, support rectangulaire qui reçoit la boussole et présente une règle parallèle à la ligne N.-S. Cette règle permet de tracer les projections horizontales du cordeau, suivant les directions indiquées par la même boussole avec laquelle on a opéré dans la mine.

Cette méthode de lever et de tracer les plans présente plusieurs éléments d'erreur qu'il est essentiel de signaler; les uns tiennent à l'instrument, les autres à la manière d'opérer. La boussole ne marque pas le nord vrai; sa déclinaison varie non-seulement suivant les latitudes, mais elle éprouve en outre des variations *diurnes*. Ainsi, dans une localité donnée, on a constaté d'un jour à l'autre des variations de 30 minutes, et dans des espaces de quinze à vingt jours la variation a quelquefois dépassé un degré. Si donc on veut opérer avec certitude, il faut tracer une méridienne à la surface et déterminer dans la mine une ligne de repère, précaution qn'on ne prend que bien rarement. La difficulté de lire bien exactement, avec une lumière incertaine et dans des positions souvent incommodes, les angles marqués par l'aiguille qui oscille pendant long-temps, est un autre obstacle à la parfaite exactitude des observations; en admettant toutefois que l'appréciation soit exacte, on ne peut pas être fixé à plus d'un quart de degré, c'est-à-dire qu'on néglige forcément les angles de 15 minutes. Enfin il faut s'astreindre à ne porter sur soi aucun instrument en fer, et si l'on opère dans une galerie où il existe un chemin de fer il faudra faire enlever les rails autour des stations; car à la hauteur d'un mètre au-dessus de ces rails la déviation pourrait être de plus d'un degré.

Quant à la manière d'opérer, elle est vicieuse en ce sens que, es stations étant très-multipliées avant d'arriver à déterminer la position d'un point éloigné, toutes les chances d'erreur s'ajoutent de manière à produire, par exemple, des erreurs de plus d'un mètre après une série d'opérations.

La méthode de M. Scheidauer consistait à déterminer isolément la position de chaque point de station relativement à trois plans coordonnés, qui sont : un plan horizontal, un plan vertical passant par le méridien magnétique, et un plan vertical perpendiculaire aux deux précédents. Ces trois plans se croisent au point de départ, et chaque point est déterminé par sa hauteur, sa longitude et sa latitude relativement aux trois plans coordonnés. On note comme *positives* les hauteurs au-dessous du plan horizontal, les longitudes à l'est du plan méridien et les latitudes au nord du plan perpendiculaire au plan méridien ; par contre, on note comme *négatives* les distances au-dessous du plan horizontal, les longitudes à l'ouest du plan méridien, les latitudes au sud du plan perpendiculaire. On a soin de déterminer le méridien magnétique d'une manière fixe par deux repères qu'on peut toujours retrouver et qui permettent de négliger les variations diurnes.

Cette méthode est suivie dans bien peu de cas, bien qu'elle soit plus exacte que la méthode ordinaire ; mais il faut, autant que possible, que les procédés adoptés soient à la portée des maîtres mineurs, et que la pratique en soit simple. C'est seulement lorsqu'il s'agit de déterminations importantes qu'on a recours aux méthodes exactes.

Dans les mines de fer oxydulé magnétique, l'aiguille pouvant être dérangée par la proximité du minerai, on a renoncé à l'emploi de la boussole, et on se sert de graphomètres. M. Combes a disposé un théodolithe souterrain avec lequel on peut lever les plans de mine avec la même célérité que par l'emploi de la boussole et d'une manière aussi exacte.

Quel que soit l'instrument adopté, le plan d'une mine devra être mis tous les mois au courant des travaux Il sera fait sur papier maillé ou quadrillé, des carrés principaux devant repré-

senter un espace de 10 mètres carrés. Cette division facilite beaucoup les réductions et les levés de plans partiels.

Un plan de mine résume toutes les conditions des travaux souterrains, et, dans une exploitation de quelque étendue, l'étude de ce plan est le seul moyen qui permette d'embrasser l'ensemble de ces conditions.

Quelle est en effet la forme du gîte? quelle est son allure? quels sont ses accidents? Tous les points de repère, toutes les lignes qui peuvent, autant que le permet l'avancement des travaux, répondre à ces diverses questions, sont nécessairement indiqués sur le plan, puisque ces points et ces lignes constituent le résultat le plus immédiat des travaux souterrains. Par quels moyens a-t-on atteint le gîte? quelle est la méthode d'abattage? quel est le système suivi dans l'aménagement? Le plan seul permet de répondre à ces questions d'ensemble, qu'il n'est pas possible d'apprécier en parcourant les travaux. S'agit-il de constater les circonstances du roulage souterrain et de l'extraction, de suivre la circulation de l'aérage, de reconnaître le système d'écoulement et d'épuisement des eaux; ce n'est encore que sur un plan bien circonstancié qu'on pourra suivre dans les voies souterraines ces trois courants essentiellement distincts : celui de l'eau, qui circule et se rassemble vers les divers points d'épuisement; celui de l'air, qui entre pur et sort vicié; enfin celui des matières exploitées, conduites de tous les ateliers vers les points d'extraction.

C'est ainsi que, toutes les branches successivement développées dans les chapitres précédents concourant vers un but unique : l'extraction des matières utiles; toutes doivent être coordonnées pour que cette extraction soit à la fois sûre et économique. Terminons par un résumé de la législation des mines en France, dont la connaissance est indispensable à celui qui veut entreprendre une exploitation quelconque.

LÉGISLATION DES MINES.

La législation française se résume aujourd'hui par la loi de 1810, qui divise les exploitations en trois classes : les *mines*, *minières* et *carrières*.

Sont considérées comme mines les exploitations de filons, amas ou couches de minerais d'or, d'argent, de plomb, cuivre, étain, etc. ; de charbon de terre, soufre, alun, et sulfates à bases métalliques ;

Comme minières, les exploitations des minerais, de fer d'alluvions, de bancs de tourbe, des terres alumineuses, etc. ;

Comme carrières, les exploitations d'ardoises, pierre à bâtir, grès, marnes, etc.

Propriété des mines. — Les mines ne peuvent être exploitées qu'en vertu d'un acte de concession délibéré en conseil d'État.

Cet acte règle les droits des propriétaires de la surface sur les mines non concédées. Ces droits se payent ordinairement suivant la profondeur; ils diminuent à mesure que la profondeur augmente.

Il donne la propriété perpétuelle de la mine.

Celle-ci est disponible et transmissible comme toute autre propriété et protégée par les mêmes lois.

Elle diffère toutefois des autres propriétés en ce qu'elle ne peut être vendue par lots et partagée sans une autorisation préalable du gouvernement.

Les mines sont immeubles, ainsi que les bâtiments, machines, puits, galeries, etc.; chevaux, outils, etc., servant à l'exploitation.

Les actions de mine sont meubles, ainsi que les matières extraites et les approvisionnements.

Recherches et concessions. — On ne peut faire de recherches sur la propriété d'un tiers qu'avec son consentement ou l'autorisation du gouvernement, en payant une indemnité au propriétaire.

Aucune permission ou concession du gouvernement ne peut donner le droit d'exécuter des travaux de recherche ou d'exploitation dans des enclos murés et à moins de 100 mètres des habitations et des clôtures.

Préférence à accorder pour les concessions. — Tout Français ou étranger régnicole peut obtenir une concession de mines pourvu qu'il justifie des moyens de couvrir les frais d'exploitation et de payer les indemnités, redevances, etc.

Le gouvernement apprécie les motifs de préférence.

Une indemnité est déterminée par l'acte de concession en faveur de l'inventeur aussi bien qu'en faveur du propriétaire du sol.

Obtention des concessions. — Les demandes en concession sont adressées au préfet, qui les fait afficher et qui, après quatre mois d'affiches et avoir reçu les demandes en opposition ou en concurrence, transmet la demande avec son avis au ministre de l'intérieur. Le ministre de l'intérieur donne sa décision après avoir consulté le conseil d'État.

L'exploitation des mines, n'étant pas considérée comme un commerce, n'est pas sujette à patente.

Les propriétaires de mines payent à l'État une redevance fixe de 10 fr. par kilomètre carré et une redevance proportionnelle au produit de l'extraction. réglée chaque année par le budget comme les autres contributions. Cette dernière redevance ne peut s'élever au-dessus de 5 p. 100 du produit.

Ils payent en outre un décime par franc en sus, dont on forme une caisse à la disposition du ministre de l'intérieur pour dégrèvement en faveur des propriétaires de mine qui éprouvent des pertes ou accidents.

Surveillance des mines par l'administration. — Cette surveillance est exercée par les ingénieurs des mines, sous les ordres du ministre de l'intérieur et du préfet.

Les ingénieurs des mines donnent leur avis sur les demandes en concession et les conditions à imposer aux concessionnaires. Ils surveillent l'exécution des lois et règlements de police, et donnent des conseils aux exploitants.

Propriété et exploitation des minières. — L'exploitation des minières ne peut pas avoir lieu sans une permission qui détermine les limites de l'exploitation et les règles de sûreté et de salubrité.

Le propriétaire du fonds sur lequel il y a du minerai d'alluvion est tenu de l'exploiter en quantité suffisante pour fournir, autant que faire se pourra, aux besoins des usines du voisinage.

Il se borne à demander la permission au préfet, qui lui donne acte de sa déclaration; ce qui équivaut à une permission.

Si le propriétaire n'exploite pas, les maîtres de forges auront la faculté d'exploiter à sa place après avoir rempli certaines formalités et en l'indemnisant convenablement.

Si des travaux souterrains deviennent nécessaires, il faudra demander une concession, qui sera accordée avec les formalités et sous les conditions exigées pour les mines proprement dites.

L'exploitation des terres pyriteuses ou alumineuses est traitée comme l'exploitation des minerais de fer d'alluvion. Les propriétaires du sol ont droit de les exploiter avec permission, et, s'ils ne les exploitent pas, des tiers peuvent les exploiter en leur payant une indemnité.

Carrières et tourbières. — L'exploitation des carrières à ciel ouvert a lieu sans permission et sous la simple surveillance de la police.

Quand elle a lieu sous terre, elle est placée sous la surveillance spéciale de l'administration des mines.

Les tourbières ne peuvent être exploitées que par le propriétaire du terrain, ou de son consentement, avec permission du sous-préfet.

Un règlement administratif détermine la direction générale des travaux d'extraction des rigoles de desséchement, etc.

FIN.

